

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02103442.7

[43] 公开日 2002 年 12 月 18 日

[11] 公开号 CN 1385747A

[22] 申请日 2002.2.5 [21] 申请号 02103442.7

[30] 优先权

[32] 2001.2.5 [33] US [31] 09/775,632

[71] 申请人 古河电气工业株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 並木周 江森芳博

小粥幹夫

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

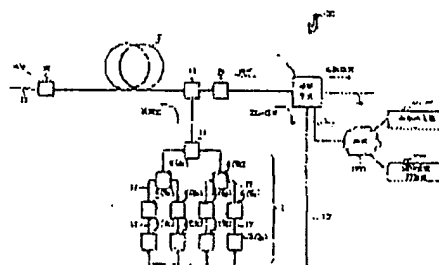
代理人 塞 炜

权利要求书 23 页 说明书 40 页 附图 33 页

[54] 发明名称 用于识别、获取和维持任意拉曼放大性能的拉曼放大器系统、设备和方法

[57] 摘要

一种拉曼放大器、系统与amp;方法,采用多个光泵使光经泵激进入光纤,以便对在光纤中传输的光信号进行拉曼放大。该拉曼放大器还包括光耦合器,使该泵激装置与光纤实现光学互连;及一个控制单元,控制该泵激装置以实现目标放大性能。另外,该控制单元监测经拉曼放大的 WDM 信号,并确定所监测的经拉曼放大的 WDM 信号是否在该目标放大性能的可允许容限内。如果该拉曼放大信号不在该可允许容限内,该控制单元主动控制光泵,使被监测的拉曼放大信号在该目标放大轮廓的可允许容限内。



ISSN 1008-4274

1、一种控制器，用于具有多个泵浦激光器的拉曼放大器，包括：
存储器，用于保存计算机可读指令和数据；及
处理器，具有与外部设备通信的接口，所述处理器执行所述计算机可读指令并实现目标设置机制和参数运用机制，其中：

所述目标设置机制用于识别目标性能及多个泵浦激光器的相应工作参数，以实现该目标性能，所述目标性能与至少一个所述外部设备向所述处理器提供的工作条件相关，所述目标性能至少是以下之一：

预定放大性能，该性能在放大带宽上是指定的，所述放大带宽至少与由所述拉曼放大器放大、并通过光纤传播的 WDM 光信号的信号带宽一样大，及

输出信号电平性能，该性能在所述放大带宽上是指定的，
及

所述参数应用机制用于输出至少一个控制信号，该信号限定所述工作参数，以调整从所述多个泵浦激光器导入到光纤中的光量，实现在所述目标性能的预定容限内的实际性能。

2、根据权利要求 1 所述的控制器，其中，所述目标设置机制通过模拟来识别所述工作参数，以实现在所述目标性能的预定容限内的实际性能。

3、根据权利要求 1 所述的控制器，其中，所述目标设置机制用于从存储器检索泵浦激光器的工作参数，以实现在所述目标性能的预定容限内的实际性能。

4、根据权利要求 3 所述的控制器，其中，所述工作条件被存储于与所述目标性能相关的所述存储器。

5、根据权利要求 1 所述的控制器，其中，

所述目标性能为预定的放大性能；及

所述目标设置机制用于根据采样 WDM 输出信号和采样输入信号计算所述预定放大性能。

6、根据权利要求 5 所述的控制器，其中，所述处理器用于调整所述工作参数，以保持实际输出性能在所述目标放大性能的预定容限内。

7、根据权利要求 1 所述的控制器，其中：

所述目标性能是所述输出信号电平性能；和

所述目标设置机制用于监测所述拉曼放大器输出时的 WDM 光信号，以确定实际的放大性能。

8、根据权利要求 7 所述的控制器，其中，所述处理器用于：

接收输入 WDM 信号的电平的指示；和

通过计算输出时所述 WDM 光信号对所述输入信号之比值，计算所述拉曼放大器的放大增益，以便确定所述拉曼放大器提供的放大量是否与所述目标性能一致。

9、根据权利要求 7 所述的控制器，其中，根据相邻拉曼放大器提供的输出信号电平数据，所述处理器确定该 WDM 光信号输入到所述拉曼放大器时的电平，其中所述相邻拉曼放大器通过所述光纤与所述拉曼放大器的输入端连接，

所述处理器通过比较信号电平数据与光纤损耗数据，计算所述 WDM 光信号的电平。

10、根据权利要求 7 所述的控制器，其中，所述处理器监测从该拉曼放大器输出时的所述 WDM 光信号，所用的采样点至少与 WDM 光信号中的 WDM 信道一样多。

11、根据权利要求 10 所述的控制器，其中，所述处理器从多路分解器接收 WDM 光信号的分离光谱采样，该多路分解器将 WDM 光信号分成多个信号。

12、根据权利要求 7 所述的控制器，其中所述处理器通过监测在不同波长上所取采样，监测所述拉曼放大器的 WDM 输出信号，所监测的所述采样至少与所述拉曼放大器中的所述泵浦激光器的数量一样多。

13、根据权利要求 7 所述的控制器，其中，所述处理器通过监测在不同波长所取采样的预定量来监测 WDM 输出信号，所述预定采样量的范围由该拉曼放大器中的泵浦激光器之数量以及所述 WDM 光信号中 WDM 信道之数量来限制。

14、根据权利要求 6 所述的控制器，其中所述处理器比较所述采样的 WDM 输出信号与所述目标性能作比较，并确定这两者之间的偏差是否大于预定容限。

15、根据权利要求 14 所述的控制器，其中，若该偏差大于预定容限，该处理器递增地调整该多个泵浦激光器中的至少一个激光器之输出功率，该至少一个泵浦激光器具有的增益轮廓在波长上与发生偏差的波长频段相对应。

16、根据权利要求 15 所述的控制器，其中若该偏差大于该预定容限，该处理器调整该多个泵浦激光器中之一组激光器的输出，所述组包括具有相对于该多个泵浦激光器之全套工作波长的相邻工作波长的泵浦激光器。

17、根据权利要求 14 所述的控制器，其中所述处理器确定该 WDM 输出信号的各个采样是否是根据下列等式的预定容限内：

$$ABS[\text{目标}-\text{监测结果}] \leq \text{预定容限}$$

18、根据权利要求 17 所述的控制器，其中，如果在一系列采样中只有一个采样大于该预定容限，该处理器识别所述多个泵浦激光器中哪一个产生的拉曼增益轮廓具有最接近发生偏差的波长的峰值。

19、根据权利要求 18 所述的控制器，其中所述参数应用机制调

整来自光泵的泵浦光量，该光泵产生的拉曼增益轮廓具有最接近发生偏差的波长的峰值。

20、根据权利要求 17 所述的控制器，其中，如果多于 1 个的相邻采样大于所述预定容限，所述处理器建立一个辅助目标放大轮廓。

21、根据权利要求 20 所述的控制器，其中，所述参数放大机制调整控制信号的输出，以调整来自该多个泵浦激光器的泵浦光量，所调整的量对应于该辅助目标放大轮廓。

22、根据权利要求 20 所述的控制器，其中，所述处理器从所述存储器检索所述辅助目标放大轮廓。

23、根据权利要求 22 所述的控制器，其中所述处理器以模式识别机制从多个候选轮廓中识别所述辅助目标放大轮廓。

24、根据权利要求 23 所述的控制器，其中所述处理器通过计算相对于所述多个候选轮廓的所述辅助目标放大轮廓的最小乘方拟合，识别所述辅助目标放大轮廓。

25、根据权利要求 1 所述的控制器，其中，所述处理器进一步实现一目标调整机制，当所述接口从所述外部部件之一接收到工作条件已发生变化的指示时，该目标调整机制调整所述目标性能。

26、根据权利要求 1 所述的控制器，其中，所述目标调整机制调整所述目标性能的波形。

27、根据权利要求 26 所述的控制器，其中，所述目标调整机制通过模拟来识别对应于所述目标性能之波形的泵浦激光器的工作参数。

28、根据权利要求 26 所述的控制器，其中，所述目标调整机制通过查表来识别对应于所述目标性能之波形的泵浦激光器的工作参数。

29、根据权利要求 25 所述的控制器，其中所述目标调整机制调整所述放大带宽之带宽。

30、根据权利要求 29 所述的控制器，其中，所述目标调整机制通过所述模拟和查表过程的至少之一过程来识别对应于所述放大带宽的工作参数。

31、根据权利要求 29 所述的控制器，其中，所述目标调整机制能够为操作应用从所述多个泵浦激光器中启动一个先前未工作的泵浦激光器之不同子集。

32、根据权利要求 25 所述的控制器，其中，所述目标调整机制在识别工作条件变化之后调整所述目标性能，所述的工作条件至少是下述之一：

泵相互作用之量

光纤损耗，以及

由于相邻级联拉曼放大器的放大性能变化。

33、根据权利要求 1 所述的控制器，其中，当所述处理器确定所述拉曼放大器的实际性能不在所述目标性能的预定容限内时，所述目标设置机制识别第一组泵浦激光器的一组共用参数，并均匀地改变该第一组泵浦激光器的工作参数。

34、根据权利要求 33 所述的控制器，其中，该处理器计算所述多个泵浦激光器中的该第一组中的每一泵浦激光器、第二组中的其余泵浦激光器的相应的输出功率。

35、根据权利要求 34 所述的控制器，其中，所述处理器至少根据以下方式之一计算该第一组和第二组中每个泵相应的输出功率：

模拟程序，

查表法，

叠加处理。

36、根据权利要求 33 所述的控制器，其中，该第一组中的泵浦激光器的总数大于该第二组泵浦激光器的总数。

37、根据权利要求 1 所述的控制器，其中，该处理器控制该多

个泵浦激光器之每一个的输出功率，当相应的泵浦激光器的工作波长减小时，使其增大。

38、根据权利要求 1 所述的控制器，其中，该多个泵浦激光器产生在不同中心波长的光，并工作在带有较短波长端和较长波长端的波长频带内，所述较短波长端包括一第一组泵浦激光器，其工作中心波长小于泵浦激光器之最短和最长中心波长之间的中间波长，该较长波长端包括一第二组泵浦激光器，其工作中心波长大于该中间波长。

39、根据权利要求 38 所述的控制器，其中，该第一组泵浦激光器中包括的泵浦激光器比该第二组泵浦激光器多。

40、根据权利要求 38 所述的控制器，其中，该处理器控制该多个泵浦激光器，使得由该第一组产生的射入光纤的光泵激功率大于由该第二组产生的射入光纤的光泵激功率。

41、根据权利要求 38 所述的控制器，其中，所述参数运用机制只向该较长波长端中的泵浦激光器子集输出一个控制信号，以便在整个放大带宽对所述拉曼放大器的合成增益轮廓产生斜率。

42、根据权利要求 41 所述的控制器，其中，所述参数运用机制通过增加该第二组中的泵浦激光器子集的光输出，对该增益轮廓产生一负斜率。

43、根据权利要求 41 所述的控制器，其中，所述参数运用机制通过减少该第一组中的泵浦激光器子集的光输出，对该增益轮廓产生一负斜率。

44、根据权利要求 1 所述的控制器，其中，所述处理器通过所述接口从远程计算机接收所述数据和至少一部分所述工作条件。

45、根据权利要求 44 所述的控制器，其中，所述接口连接因特网，用于从至少一台远程计算机接收信息，并连接一个相邻拉曼放大器，该相邻拉曼放大器通过光纤连接所述拉曼放大器。

46、根据权利要求 44 所述的控制器，其中，所述计算机可读指令从所述远程计算机被下载到所述存储器。

47、根据权利要求 46 所述的控制器，其中，所述计算机可读指令至少包括一个 Java 和 ActiveX 指令。

48、根据权利要求 47 所述的控制器，其中，所述处理器从所述远程计算机、并通过由所述远程计算机为主机的万维网页接收所述计算机可读指令、所述数据以及所述工作条件中的至少之一项。

49、根据权利要求 44 所述的控制器，其中，所述处理器通过所述接口从所述远程计算机接收影响最佳目标性能的其他工作条件。

50、根据权利要求 1 所述的控制器，其中，所述处理器通过所述接口接收有关相邻级联拉曼放大器之工作状态的工作条件，以使所述目标设置机制识别泵浦激光器的工作参数，所述参数将抵消所述相邻级联拉曼放大器的所述放大性能的变化。

51、一种用于放大在光纤中传输的 WDM 光信号的拉曼放大器，包括：

泵激装置，包括多个泵浦激光器，产生施加于光纤的光；

光耦合器，使该泵激装置与该光纤光学互连；

控制器，包括

存储器，用于保存计算机可读指令和数据；以及

处理器，具有与外部装置通信的接口，所述处理器执行所述计算机可读指令并实现目标设置机制以及参数应用机制，其中

所述目标设置机制用于识别目标性能及多个泵浦激光器的相应工作参数，以实现该目标性能，所述目标性能与至少一个所述外部设备向所述处理器提供的工作条件相关，所述目标性能至少是以下之一：

预定放大性能，该性能在放大带宽上是指定的，所述放大带宽至少与由所述拉曼放大器放大、并通过光纤传播的 WDM 光

信号的信号带宽一样大，及

输出信号电平性能，该性能在所述放大带宽上是指定的，

及

所述参数应用机制用于输出至少一个控制信号，该信号限定所述工作参数，以调整从所述多个泵浦激光器导入到光纤中的光量，实现在所述目标性能的预定容限内的实际性能。

52、根据权利要求 51 所述的拉曼放大器，还包括一个抽头耦合器，用于向该处理器提供来自该拉曼放器的采样 WDM 输出信号。

53、根据权利要求 51 所述的拉曼放大器，其中，所述目标设置机制通过模拟来识别所述工作参数，以获得在所述目标性能之预定容限内的实际性能。

54、根据权利要求 51 所述的拉曼放大器，其中，所述目标设置机制从存储器检索该泵浦激光器的工作参数，以获得在所述目标性能之预定阈值内的实际性能。

55、根据权利要求 54 所述的拉曼放大器，其中，所述工作条件被存储于与所述目标性能相关的所述存储器中。

56、根据权利要求 1 所述的拉曼放大器，其中：

所述目标性能是该预定的放大性能；及

所述目标设置机制根据该采样的 WDM 输出信号和采样输入信号计算所述的预定放大性能。

57、根据权利要求 56 所述的拉曼放大器，其中，所述处理器调整所述工作参数，以使所述拉曼放大器的实际输出性能保持在所述目标放大性能的预定容限内。

58、根据权利要求 51 所述的拉曼放大器，其中

所述目标性能是所述输出信号电平性能；及

所述目标设置机制监测所述拉曼放大器的 WDM 输出信号，以确定实际放大性能。

59、根据权利要求 58 所述的拉曼放大器，其中，所述处理器：
接收输入的 WDM 信号的电平之指示；及
通过计算输出的 WDM 信号与所述输入的 WDM 信号之比值，计算
所述拉曼放大器的放大增益，以确定所述拉曼放大器提供的放大量
是否与所述目标性能一致。

60、根据权利要求 58 所述的拉曼放大器，其中，根据相邻的级
联拉曼放大器提供的输出信号电平数据，所述处理器确定该 WDM 光
信号输入到所述拉曼放大器时的电平，其中所述相邻的级联拉曼放
大器通过所述光纤与所述拉曼放大器连接，

所述处理器通过比较信号电平数据与光纤损耗数据，计算所述
WDM 光信号的电平。

61、根据权利要求 52 所述的拉曼放大器，还包括多路分解器，
该多路分解器将该 WDM 输出光信号分成预定数量的独立信号，每一
信号以该放大带宽中的不同波长为中心，其中，

所述预定数量的独立信号在数量上至少与 WDM 光信号中的 WDM
信道一样多。

62、根据权利要求 52 所述的拉曼放大器，还包括多路分解器，
该多路分解器将该 WDM 输出光信号分成预定数量的独立信号，每一
信号以该放大带宽中的不同波长为中心，其中

所述预定数量的独立信号在数量上与泵浦激光器一致。

63、根据权利要求 52 所述的拉曼放大器，其中，所述处理器比
较所述 WDM 输出信号与所述目标性能，并确定其间的偏差是否大于
预定容限。

64、根据权利要求 63 所述的拉曼放大器，其中，如果该偏差大
于该预定容限，该处理器递增或递减该多个泵浦激光器中至少一个
的输出功率，该至少一个泵浦激光器的增益轮廓在波长上与发生偏
差的波长范围一致。

65、根据权利要求 63 所述的拉曼放大器，其中，如果该偏差大于该预定容限，该控制器调整该多个泵浦激光器中的一组的输出，所述激光器组包含具有相对于该多个泵浦激光器之工作波长集的相邻工作波长。

66、根据权利要求 63 所述的拉曼放大器，其中，所述处理器确定所述 WDM 输出信号的各光谱采样是否在根据以下等式的所述预定容限内：

$$ABS[\text{目标}-\text{监测结果}] \leq \text{预定容限}$$

67、根据权利要求 63 所述的拉曼放大器，其中，如果所述 WDM 输出信号中只有一个光谱采样大于预定容限，所述控制器识别所述多个泵浦激光器中的哪一个所产生的拉曼增益轮廓具有最接近所述 WDM 输出信号中大于预定容限的光谱采样之波长的增益峰值。

68、根据权利要求 67 所述的拉曼放大器，其中，所述参数应用机制调整来自光泵的泵浦光量，该光泵产生的该拉曼增益轮廓具有最接近大于该预定容限的采样之位置的峰值。

69、根据权利要求 63 所述的拉曼放大器，其中，如果超过 1 个所述 WDM 输出信号的相邻光谱采样大于所述预定容限，所述处理器生成一个辅助目标放大轮廓。

70、根据权利要求 69 所述的拉曼放大器，其中，所述参数放大机制调整该至少一个控制信号的输出，以调整来自该多个泵浦激光器的泵浦光的量，所调整的量与该辅助目标放大轮廓一致。

71、根据权利要求 69 所述的拉曼放大器，其中，所述处理器从所述存储器检索所述辅助目标放大轮廓。

72、根据权利要求 71 所述的拉曼放大器，其中，所述处理器通过模式识别从多个候选轮廓中识别所述辅助目标放大轮廓。

73、根据权利要求 72 所述的拉曼放大器，其中，所述处理器通过采用所述候选轮廓计算所述辅助目标放大轮廓的最小乘方拟合，

来识别所述辅助目标放大轮廓。

74、根据权利要求 51 所述的拉曼放大器，其中，所述处理器还实现一目标调整机制，当所述接口从工作条件已变化的所述外部部件接收指示时，该目标调整机制调整所述目标性能。

75、根据权利要求 74 所述的拉曼放大器，其中，所述目标调整机制调整所述目标性能的波形。

76、根据权利要求 75 所述的拉曼放大器，其中，所述目标调整机制通过模拟来识别与所述目标性能之波形一致的泵浦激光器之工作参数。

77、根据权利要求 75 所述的拉曼放大器，其中，所述目标调整机制通过查表来识别与所述目标性能之波形一致的泵浦激光器之工作参数。

78、根据权利要求 74 所述的拉曼放大器，其中，所述目标调整机制调整所述放大带宽的带宽。

79、根据权利要求 78 所述的拉曼放大器，其中，所述目标调整机制通过模拟和查表程序中的至少一种方式来识别与所述放大带宽相对应的所述工作参数。

80、根据权利要求 78 所述的拉曼放大器，其中，所述目标调整机制能够为操作应用从所述多个泵浦激光器中启动一个先前未工作的泵浦激光器之不同子集。

81、根据权利要求 74 所述的拉曼放大器，其中，所述目标调整机制在识别工作条件变化之后调整所述目标性能，所述的工作条件至少是下述之一：

泵相互作用

光纤损耗，以及

由于相邻级联拉曼放大器的放大性能变化。

82、根据权利要求 51 所述的拉曼放大器，其中，当所述处理器

确定所述拉曼放大器的实际性能不在所述目标性能的预定容限内时，所述目标设置机制识别第一组泵浦激光器的一组共用参数，并均匀地改变该第一组泵浦激光器的工作参数。

83、根据权利要求 82 所述的拉曼激光器，其中，该处理器计算包括在第一组中的每一泵浦激光器、以及所述多个泵浦激光器的第二组中的其余泵浦激光器的相应输出功率，以产生高目标放大轮廓。

84、根据权利要求 83 所述的拉曼放大器，其中，该处理器至少根据以下方式之一，计算包括在该第一组和该第二组中每一个泵浦激光器的所要求的输出功率：

模拟程序，用于计算产生该目标性能的所要求的输出功率，
查询表，包括产生该目标性能的所要求的输出功率，以及
叠加程序。

85、根据权利要求 83 所述的拉曼放大器，其中，该第一组中泵浦激光器的总功率大于该第二组中泵浦激光器的总功率。

86、根据权利要求 51 所述的拉曼放大器，其中，该多个泵浦激光器之每一个都产生在不同中心波长的光，并工作在带有较短波长端和较长波长端的波长频带内，所述较短波长端包括第一组中的泵浦激光器，其工作中心波长小于泵浦激光器之最短和最长中心波长之间的中间波长，该较长波长端包括第二组中的泵浦激光器，其工作中心波长大于该中间波长。

87、根据权利要求 86 所述的拉曼放大器，其中，该第一组泵浦激光器输出光学功率的总量大于该第二组。

88、根据权利要求 86 所述的拉曼放大器，其中，该处理器控制该多个泵浦激光器，使得由较短波长端中的泵浦激光器射入光纤的光泵功率大于由较长波长端中的泵浦激光器射入光纤的光泵功率。

89、根据权利要求 86 所述的拉曼放大器，其中，所述参数应用

机制输出一控制信号以增加与该第一组相关的该第二组激光器的输出，以便对所述拉曼放大器的合成增益轮廓产生一正斜率。

90、根据权利要求 86 所述的拉曼放大器，其中，所述参数应用机制输出一控制信号以增加与该第二组相关的该第一组激光器的输出，以便对所述拉曼放大器的合成增益轮廓产生一正斜率。

91、根据权利要求 51 所述的拉曼放大器，其中，所述处理器通过所述接口从远程计算机接收所述数据、及所述工作条件的至少一部分。

92、根据权利要求 91 所述的拉曼放大器，其中所述接口连接因特网，用于从至少一台远程计算机接收信息，并连接一相邻拉曼放大器，该相邻拉曼放大器通过光纤连接所述拉曼放大器。

93、根据权利要求 91 所述的拉曼放大器，其中，所述计算机可读指令从所述远程计算机被下载到所述存储器。

94、根据权利要求 93 所述的拉曼放大器，其中，所述计算机可读指令包括 Java 和 ActiveX 指令的至少一个。

95、根据权利要求 92 所述的拉曼放大器，其中，所述处理器从所述远程计算机、并通过由所述远程计算机为主机的万维网页接收所述计算机可读指令、所述数据以及所述工作条件中的至少之一项。

96、根据权利要求 91 所述的拉曼放大器，其中，所述处理器通过所述接口从所述远程计算机接收影响最佳目标性能的其他工作条件。

97、根据权利要求 51 所述的拉曼放大器，其中，所述处理器通过所述接口接收有关相邻拉曼放大器之工作状态的工作条件，以使所述目标设置机制识别泵浦激光器的工作参数，所述工作参数将抵消所述相邻拉曼放大器的所述放大性能中的变化。

98、一种用于控制具有多个泵浦激光器的拉曼放大器的放大性能的方法，包括以下步骤：

识别与所述拉曼放大器的目标性能一致的该多个泵浦激光器的工作参数, 所述目标性能至少为以下之一:

预定放大性能, 在放大带宽上是指定的, 所述的放大带宽至少和在光纤中传输时被放大的 WDM 光信号的信号带宽一样大, 及

输出信号电平性能, 在所述放大带宽上是指定的;

在处理器中生成一个由所述工作参数导出的控制信号;

将所述信号传送到与所述多个泵浦激光器耦合的光输出调整装置; 及

调整从所述多个泵浦激光器引入到所述光纤的光量, 以实现在所述目标性能之预定容限内的实际性能。

99、根据权利要求 98 所述的方法, 其中, 所述输出调整装置是驱动电路, 且所述的调整步骤包括调整施加于所述泵浦激光器的至少一部分上的驱动电流。

100、根据权利要求 98 所述的方法, 还包括由该拉曼放大器生成采样的 WDM 输出信号、以及向所述处理器提供所述采样 WDM 输出信号以建立一反馈环路的步骤。

101、根据权利要求 99 所述的方法, 其中, 所述识别步骤包括执行一模拟程序来识别所述工作参数, 以获得在所述目标性能之预定容限内的实际性能。

102、根据权利要求 99 所述的方法, 其中, 所述识别步骤包括从存储器检索该泵浦激光器的工作参数, 以获得在该目标性能的预定容限内的实际性能。

103、根据权利要求 99 所述的方法, 还包括在与不同目标性能相关的存储器中存储多组工作条件之步骤。

104、根据权利要求 100 所述的方法, 其中, 所述目标性能为预定放大性能, 并进一步包括根据该采样的 WDM 输出信号和被输入到

该拉曼放大器的采样 WDM 光信号来计算所述的预定放大性能之步骤。

105、根据权利要求 104 所述的方法，还包括监测所述拉曼放大器的输出性能之步骤。

106、根据权利要求 105 所述的方法，还包括调整所述工作参数以使所述输出性能保持在所述目标性能的预定容限内之步骤。

107、根据权利要求 106 所述的方法，其中，所述监测步骤包括：
接收输入的 WDM 信号的电平之指示；及

通过得到所述采样 WDM 输出信号对所述输入 WDM 信号的比值来计算放大增益，以便确定所述拉曼放大器提供的放大量是否与所述目标性能一致。

108、根据权利要求 105 所述的方法，还包括如下步骤：

当从相邻的级联拉曼放大器输出该 WDM 光信号时，接收该 WDM 光信号的信号电平数据，所述相邻的级联拉曼放大器通过所述光纤连接所述拉曼放大器；及

通过将该信号电平数据与光纤损耗数据相比较，确定所述 WDM 光信号被输入到所述拉曼放大器时的信号电平。

109、根据权利要求 105 所述的方法，还包括：

将该 WDM 输出光信号分解成预定数量的独立信号，各信号以该放大带宽中的不同波长为中心，其中

所述预定数量的独立信号在数量上至少与 WDM 光信号中的 WDM 信道一样多。

110、根据权利要求 105 所述的方法，还包括：

将该 WDM 输出光信号分解成预定数量的独立信号，各信号以该放大带宽中的不同波长为中心，其中

所述预定数量的独立信号在数量上与泵浦激光器的数量一致。

111、根据权利要求 100 所述的方法，还包括：

将所述采样 WDM 输出信号与所述目标性能相比较，并确定其间的偏差是否大于一个预定容限。

112、根据权利要求 111 所述的方法，其中，如果该偏差大于该预定容限，递增地调整该多个泵浦激光器的至少一个的输出功率，该至少一个泵浦激光器具有的增益轮廓在波长上与发生该偏差的波长范围相对应。

113、根据权利要求 111 所述的方法，其中，如果该偏差大于该预定容限，调整该多个泵浦激光器中的一组激光器的输出功率，所述激光器组包含的泵浦激光器具有相对于所有该多个泵浦激光器的工作波长组的相邻工作波长。

114、根据权利要求 111 所述的方法，其中，所述的比较步骤包括确定所述采样的 WDM 输出信号的各个采样是否不在根据以下等式的所述预定容限内：

$$ABS[\text{目标}-\text{监测结果}] \leq \text{预定容限}。$$

115、根据权利要求 114 所述的方法，其中，如果所述采样 WDM 输出信号中只有一个采样大于该预定容限，则识别所述多个泵浦激光器中哪一个泵浦激光器产生的拉曼增益轮廓具有最接近所述采样 WDM 输出信号中的一个采样之波长的增益峰值，该采样大于所述预定容限。

116、根据权利要求 115 所述的方法，其中，所述调整步骤调整来自该光泵的泵浦光量，该光泵产生的拉曼增益轮廓具有最接近大于该预定容限的该采样之波长的峰值。

117、根据权利要求 114 所述的方法，其中，如果超过一个的所述采样信号的相邻采样大于所述预定容限，则生成一个辅助目标放大轮廓。

118、根据权利要求 117 所述的方法，其中，所述的调整步骤包括调整该至少一个控制信号的输出，以便调整来自该多个泵浦激光

器的泵浦光量，所调整的量与该辅助目标放大轮廓相对应。

119、根据权利要求 117 所述的方法，其中，所述生成一辅助目标放大轮廓之步骤包括从存储器检索所述辅助目标放大轮廓。

120、根据权利要求 119 所述的方法，其中，从存储器检索所述的辅助目标放大轮廓之步骤包括使用模式识别、以从多个候选轮廓中识别一个适合的辅助目标放大轮廓。

121、根据权利要求 120 所述的方法，其中，所述使用模式识别之步骤包括用所述多个候选轮廓来计算所述辅助目标放大轮廓的最小乘方拟合。

122、根据权利要求 98 所述的方法，还包括如下步骤：

接收所述拉曼放大器工作条件相对于初始设置的工作参数已经发生变化的指示；及

改变引起工作条件变化的所述目标性能。

123、根据权利要求 122 所述的方法，其中，所述的改变步骤包括所述目标性能的波形。

124、根据权利要求 122 所述的方法，其中，所述的改变步骤包括调整所述放大带宽的带宽。

125、根据权利要求 124 所述的方法，其中，所述的改变步骤包括启动所述多个泵浦激光器中的先前未工作的泵浦激光器子集。

126、根据权利要求 122 所述的方法，其中，所述的工作条件至少为以下之一：

泵浦相互作用，

光纤损耗，及

相邻级联拉曼放大器中的放大性能的变化。

127、根据权利要求 105 所述的方法，其中，所述的识别步骤包括，当所述拉曼放大器的实际性能未在所述目标性能的该预定容限内时，识别第一组泵浦激光器的一组共用工作参数并均匀地改变该

第一组泵浦激光器的工作参数，所述第一组中的泵浦激光器的工作波长与该多个泵浦激光器之第二组在波长上相比，或都较长、或都较短。

128、根据权利要 127 所述的方法，其中，所述识别一组共用工作参数之步骤包括使用

模拟程序，用于计算产生该目标性能的输出功率，

查询表，包括产生该目标性能的输出功率，及

叠加处理。

129、根据权利要求 127 所述的方法，其中，该第一组中的泵浦激光器的总数大于该第二组中的泵浦激光器的总数。

130、根据权利要求 127 所述的方法，其中，该第一组中的泵浦激光器的工作波长短于该第二组中的泵浦激光器的工作波长。

131、根据权利要求 130 所述的方法，其中，所述调整步骤使该第一组中的泵浦激光器发出并射入光纤的光泵激功率多于该第二组发出的光泵激功率。

132、根据权利要求 130 所述的方法，其中，所述的调整步骤包括相对于该第二组而减少该第一组泵浦激光器的输出，以对所述拉曼放大器的合成增益轮廓产生一正斜率。

133、根据权利要求 130 所述的方法，其中，所述的调整步骤包括相对于该第二组而增加该第一组泵浦激光器的输出，以对所述拉曼放大器的合成增益轮廓产生一负斜率。

134、根据权利要求 122 所述的方法，其中，所述的接收步骤包括从远程计算机接收所述的工作条件。

135、根据权利要求 134 所述的方法，其中，所述的远程计算机是通过光纤与所述拉曼放大器连接的相邻级联拉曼放大器中的处理器。

136、根据权利要 134 所述的方法，其中，所述的远程计算机是

通过通信链路与多个级联拉曼放大器互连的计算机。

137、根据权利要求 136 所述的方法，其中，所述通信链路的至少一部分是因特网。

138、根据权利要求 134 所述的方法，其中，所述接收步骤包括通过在所述远程计算机上支持的网页接收所述工作条件。

139、根据权利要求 138 所述的方法，其中，所述接收步骤包括从所述远程计算机接收至少一个 Java 和 ActiveX 指令，所接收的指令在所述拉曼放大器中的处理器上运行。

140、根据权利要求 134 所述的方法，其中，所述工作条件与相邻拉曼放大器的工作状态之变化相关：及

所述改变步骤包括改变该目标性能的波形，以补偿该相邻拉曼放大器工作状态之变化。

141、一种用于控制拉曼放大器的放大性能的设备，该拉曼放大器具有多个泵浦激光器，该设备包括：

识别装置，用于识别与所述拉曼放大器的目标性能相对应的该多个泵浦激光器的工作参数，所述目标性能至少是以下之一：

预定放大性能，该性能在放大带宽上是指定的，所述放大带宽至少与由所述拉曼放大器放大、并通过光纤传播的 WDM 光信号的信号带宽一样大，及

输出信号电平性能，该性能在所述放大带宽上是指定的：

生成装置，用于生成根据所述工作参数导出的控制信号；

传送装置，用于将所述控制信号传送到所述多个泵浦激光器；

调整装置，用于调整从所述多个泵浦激光器引入所述光纤的光量，以实现在所述目标性能的预定容限内的实际性能。

142、根据权利要求 141 所述的设备，还包括：

生成装置，用于生成采样 WDM 输出信号，以建立反馈环路。

143、根据权利要求 142 所述的设备，还包括监测装置，用于监测所述拉曼放大器的输出性能。

144、根据权利要求 143 所述的设备，还包括保持装置，用于保持所述输出性能在所述目标性能的预定容限内。

145、根据权利要求 144 所述的设备，还包括：

比较装置，用于将该输出性能与所述目标性能相比较，并确定其间的偏差是否大于该预定容限。

146、根据权利要求 145 所述的设备，还包括：

调整装置，用于根据是否该偏差主要归因于一个泵浦激光器或一组泵浦激光器，来调整各个泵浦激光器或各组泵浦激光器发出的泵浦光量。

147、根据权利要求 146 所述的设备，还包括生成装置，用于当所述偏差的光谱带主要归因于多个泵浦激光器时生成辅助目标放大轮廓。

148、根据权利要求 141 所述的设备，还包括：

接收装置，用于接收所述拉曼放大器的工作条件相对于工作参数之初始设置已发生改变的指示；及

改变装置，用于改变引起工作条件变化的所述目标性能。

149、根据权利要求 148 所述的设备，其中所述的改变装置包括用于调整所述目标性能之波形的装置。

150、根据权利要求 148 所述的设备，其中所述的改变装置包括用于调整所述目标性能之带宽及所述拉曼放大器之放大带宽的装置。

151、根据权利要求 141 所述的设备，其中，所述的调整装置包括用于调整所述多个泵浦激光器中的泵浦激光器组的光输出的装置。

152、根据权利要求 151 所述设备，其中，所述调整装置包括用

于调整第一组泵浦激光器的光输出多于第二组泵浦激光器的光输出、以对所述拉曼放大器的合成增益轮廓产生一斜率的装置。

153、根据权利要求 141 所述的设备，还包括接收装置，用于从远程计算机接收工作条件，并利用所述识别装置中的所述工作条件来识别与所述工作条件相对应的另一个目标性能。

154、根据权利要求 153 所述的设备，其中，所述工作条件相关于相邻拉曼放大器之工作状态的变化；及

所述调整装置包括用于调整该目标性能之波形、以补偿该相邻拉曼放大器之工作状态的变化了的装置。

155、一种光通信系统，包括：

控制器，具有：

处理器，及

数据通信网络接口；

第一拉曼放大器，用于对通过光纤传输的 WDM 光信号进行光学放大；

光纤；及

第二拉曼放大器，用于接收从所述第一拉曼放大器提供的所述 WDM 光信号并进行拉曼放大，所述的第二拉曼放大器具有连接所述数据通信网络的通信接口，其中

所述控制器向所述第二拉曼放大器发送控制消息，该控制消息指示所述第二拉曼放大器调整其目标性能，及

所述第二拉曼放大器通过调整多个泵浦激光器中的至少一个子集的光输出，来调整该目标性能及其实际性能。

156、根据权利要求 155 所述的系统，其中，所述的数据通信网络的至少一部分是因特网。

157、根据权利要求 155 所述的系统，其中，所述的第一拉曼放大器包括用于向所述控制器报告其工作状态的接口，所述工作状态

包括是否其中所包含的泵浦激光器之光输出能力低于预定水平。

158、根据权利要求 157 所述的系统，其中，根据接收的所述控制消息，所述第二拉曼放大器改变其放大性能以平衡低于预定水平的第一拉曼放大器的泵浦激光器之光输出能力。

159、一种计算机程序，用于控制包括多个泵浦激光器的拉曼放大器的放大性能，该计算机程序包括：

识别方法，用于识别对应于所述拉曼放大器之目标性能的多个泵浦激光器之工作参数，所述目标性能至少为以下之一：

预定放大性能，该性能在放大带宽上是指定的，所述放大带宽至少与被拉曼放大、并通过光纤传播的 WDM 光信号的信号带宽一样大，及

输出信号电平性能，该性能在所述放大带宽上是指定的，

控制信号形成机制，由所述工作参数导出控制信号；及

传送方法，用于将所述控制信号传送到所述多个泵浦激光器，以调整从所述多个泵浦激光器引入所述光纤的光量，实现在所述目标性能之预定容限内的实际性能。

160、根据权利要求 159 所述的计算机程序产品，还包括：

监测方法，用于监测所述拉曼放大器的输出性能。

161、根据权利要求 160 所述的计算机程序产品，还包括保持方法，用于使所述输出性能保持在所述目标性能之预定容限内。

162、根据权利要求 160 所述的计算机程序产品，还包括：

比较方法，用于比较该输出性能与所述目标性能、并确定其间的偏差是否大于预定容限的方法。

163、根据权利要求 162 所述的计算机程序产品，还包括：

调整方法，用于根据该偏差主要归因于一个泵浦激光器或是一组泵浦激光器，调整各个泵浦激光器或各组泵浦激光器之泵浦光量。

164、根据权利要求 162 所述的计算机程序产品，还包括生成方法，当所述偏差之光谱带主要归因于一个以上的泵浦激光器时，生成辅助目标放大轮廓。

165、根据权利要求 159 所述的计算机程序产品，还包括：

接收方法，用于接收所述拉曼放大器的工作条件已经相对于工作参数的初始设置发生变化的指示；及

改变方法，用于改变引起工作条件变化的所述目标性能。

166、根据权利要求 165 所述的计算机程序产品，其中，所述的改变方法包括调整所述目标性能之波形的方法。

167、根据权利要求 165 所述的计算机程序产品，其中，所述的改变方法包括调整所述目标性能之带宽和所述拉曼放大器之放大带宽的方法。

168、根据权利要求 165 所述的计算机程序产品，其中，所述的改变方法包括调整所述多个泵浦激光器的泵浦激光器组之光输出的方法。

169、根据权利要求 168 所述的计算机程序产品，其中，所述的改变方法包括调整第一组泵浦激光器之光输出多于第二组泵浦激光器之光输出、以对所述拉曼放大器之合成增益产生一斜率的方法。

170、根据权利要求 165 所述的计算机程序产品，还包括用于从远程计算机接收工作条件、并利用所述识别方法中之所述工作条件识别与所述工作条件相对应的目标性能的方法。

171、根据权利要求 170 所述的计算机程序产品，其中：

所述工作条件相关于相邻拉曼放大器的工作状态之变化；及

所述调整方法包括调整该目标性能之波形以补偿该相邻拉曼放大器的工作状态之变化的方法。

用于识别、获取和维持任意拉曼放大性能的 拉曼放大器系统、设备和方法

本发明的技术领域

本发明涉及一种用于放大在各种光学介质中的光信号的拉曼放大器系统、装置和方法，更具体地说，是涉及一种拉曼放大器系统、装置和方法，用一个控制单元来实现在一个拉曼放大器中及在一个通信网络中的多个级联拉曼放大器中的任意拉曼放大轮廓。

本发明的背景技术

光纤通信系统在相当长的距离上传输光信号。但由于吸收和散射的影响传输信号受到衰减，最终导致信号质量下降。要保持信号电平强度按预定值高于背景噪声，必须呈周期地对光信号进行放大。典型的方法是使用电子中继器来放大光信号，该方法先将光信号转变为电信号并放大处理后再还原成光信号在光纤中进一步传输。

自 1996 年以来，网络通信量迅速增加，随着因特网通信量 100 天翻一番之势，整个网络通信量的上升已达到年度增长 100%。为赶上带宽需求接近年度翻番的步伐，波分复用（WDM）系统的设计师正着手寻求更为经济有效的解决方法，如光学放大器。

通常有两种光学放大器用于放大光纤通信系统内的信号。第一种属于掺稀土光纤放大器，如掺铒光纤放大器（EDFA），它使用掺铒光纤作为放大介质。第二种光学放大器是拉曼放大器。

目前，EDFA 在 WDM 系统中应用最广，而且在 WDM 信号放大应用中是可靠有效的。但是 EDFA 的放大带宽有限，大约在 1530-1610nm。而且如图 1 所示，EDFA 有一波长相关增益，在 1525-1540nm

内其峰值增益为 30-36dB，且在 1540-1560nm 内，约 30dB 时有一较为平稳的增益平顶。

由于 WDM 信号按频谱分布在放大带宽上，因此，使用 EDFA 放大 WDM 信号，在各 WDM 信道上会因信道波长而出现增益分布不均。要抵销该效果，需增加增益平稳滤波，使整个通信频带上增益均匀或呈平稳增益状态（增益差值小于 1dB）。更具体地说，要设计一种增益平稳滤波损耗状态反向地反应该增益的类似值。但是，滤波受限于某种增益状态值，且在 EDFA 增益一定幅度内滤波不能动态调整补偿变化。因此，当 EDFA 增益发生变化不能保持平稳增益。而且，采用增益平稳滤波技术会降低射入光纤功率的总量。而且，使用 EDFA 的 WDM 系统还存在噪声干扰问题。更具体地说，与光纤传输相关噪声有两类：跨距噪声和放大器噪声。在使用 EDFA 放大的系统中，信号在系统动态范围的高端离开第一级放大。但是在间隔 75km 之后信号呈线性衰减，当到达下一 EDFA 时，与原始生成信号比较已大为接近背景噪声（即，信噪比更低）。因此，当 EDFA 放大信号时，不仅放大了信号同时也放大了背景噪声，这样，在光纤中传输时还会因背景噪声而进一步降低信噪比。但是，放大器自身也给信号带来放大器噪声，所以，经过各级放大之后，信噪比（背景噪声加上放大器噪声）都会下降。

经过 400-600km 光纤传输之后，须得重新生成信号（即“清除”）。要实现此目的，在整个网络中都配置有信号再生器。好比接收机的原理一样，信号再生器将光信号还原成电信号，这样可以对数据进行检测。但要求每隔 400-600Km 要配置信号再生设备，落实起来成本较高，基本占网络总成本的一半。

拉曼放大器利用了光纤中某一特定波长频段可获得增益的现象，即所谓光的模拟拉曼散射（SRS）。在某个频率上 SRS 产生一峰值增益，该频率小于激光进光纤的约 13THz 光频率（或反言之，在

某一波长产生一个峰值增益，该波长较激励进入光纤的光波长长约100nm)。例如，图2给出使用激励装置而产生的增益结果，其中包括一单独的半导体激光器，该激光器的中心波长为1450nm，就本例而言，其增益的峰值大约是1550nm（即距1450nm半导体激光器的中心波长存在100nm偏差值），图中1dB增益偏差时带宽大约为20nm。

但是，拉曼放大器一直主要用于EDFA不能工作的波长频带，这是由于拉曼放大器要求激励功率更大，才能获得EDFA相同的增益。因此，传统上拉曼放大器都不曾用来放大WDM信号，但是这种局面近期就要改变。

在一般的光通信系统中，用于WDM信号的光放大器系基本的系统部件，它与别的系统部件结合，界定系统的通信性能。在建立新的通信系统或对现有系统升级时，系统操作人员要进行容量分配分析，从中确定信号从一地传输到另一地时要保持信号高于背景跨距噪声所需的放大器数量。

由于因特网通信的迅猛增长，系统要求时常变化。发生了变化，就必须再行着手系统分析以保证业已配置的部件能够适应发展变化的需求。由于已配置的放大器的系统性能是预先设计的，就整个放大频带的增益波形而言，对放大器实施现场升级，用最小的成本来改良增益轮廓实现最佳的系统性能通常是不切实际的（考虑成本及复杂程度等）。所以，通常的解决办法是在已配置的两个放大器之间取居中位置再装一个放大器，或者不管费用如何，直接用功能更强的放大器来取而代之。

因为一般的看法将放大器列为较大规模网络中的分离部件，当某个放大器出现故障均采取头痛医头的办法，不去考虑放大器超负荷使用或使用相邻放大器来分流等。而且，网络结构中的变化可能使带宽受到影响，如可能改变原来通信系统开发设计的初衷。例如，

使用新型光纤，EDFA 或拉曼放大器之间带宽衰减特性较原来的是不相同的。在此种情况，放大器的增益图可能与光纤不相符，这样，系统资源、系统性能次优化利用出现上升势头。

发明概述

因此，本发明的一个目的就是要解决常规 EDFA 和拉曼放大器中存在的上述问题及其他问题。

为实现此目的和其他目的，本发明提出一种新型的拉曼系统、放大器及方法，它使用由控制单元控制的多个光泵，将预定能级的泵浦光输入光纤，以便对通过该光纤传输的 WDM 光信号进行拉曼放大。该控制单元保证该拉曼放大性能（如，在放大带宽上的预定放大器增益轮廓）被设置与系统要求一致。该控制单元对放大的 WDM 信号实施监测，随后确定被监测的放大 WDM 信号是否在该目标放大轮廓的一个预定阈值内。如果该拉曼放大信号不在此预定阈值内，该控制单元就主动控制泵，使被监测的放大 WDM 信号在该目标放大轮廓的该预定阈值内。中央控制器（或其他信号源）向该控制单元发出的控制信号，指示拉曼放大器基于系统工作条件或要求的变化建立新的目标放大性能，该控制单元响应所述控制信号。

本发明的另一特点是每一个拉曼放大器无需独立工作，而是在通信系统中与其他放大器以互连网络连接方式协同工作。由于拉曼放大是一种分布式的放大，本发明通过在相邻的、级联的拉曼放大器之间转换放大任务、来利用这种分布效应，以便补偿部件工作或系统要求中不可预见的变化。

附图简述

通过以下结合附图的详细说明，将更完整、更清楚地理解本发明及其所带来的诸多优点，其中

图 1 显示 EDFA 放大器的放大轮廓图;

图 2 显示使用单个半导体激光器的拉曼放大器放大轮廓图;

图 3 显示根据本发明的一个实施例中拉曼放大器的示意图;

图 4 显示根据本发明的另一实施例的另一拉曼放大器的示意图;

图 5 显示根据本发明的又一拉曼放大器的示意图;

图 6 显示根据本发明的拉曼放大器所包括的控制单元的示意图;

图 7 显示根据本发明的控制单元所包括的部件的示意图;

图 8 显示根据本发明的控制单元所包括的其他部件的示意图;

图 9 显示通过监测拉曼放大器的输入与输出光信号控制该拉曼放大器的输出功率的示意图;

图 10 显示根据本发明的控制单元所包括的计算机系统的示意图;

图 11 显示根据本发明的拉曼放大器的控制操作的流程图;

图 12 显示光纤中光纤损耗的波长相关特性的图;

图 13 显示根据本发明的控制单元使用的光纤损耗数据表;

图 14 是说明根据本发明用于预测拉曼放大轮廓的叠加原理的图;

图 15A 和 15B 是说明基于根据本发明的该叠加原理的泵激装置的设计的图;

图 16 显示基于该叠加原理以及实际的拉曼放大轮廓的预测拉曼放大轮廓的图;

图 17 是根据本发明的又一泵激装置的示意图;

图 18 是说明根据本发明的又一拉曼放大实例的示意图;

图 19 是说明图 18 中泵激装置的放大轮廓的图;

图 20 是说明图 18 中泵激装置的总的放大轮廓的放大视图;

- 图 21 是说明图 18 中泵激装置之一变量的放大轮廓图；
- 图 22 显示图 21 中泵激装置之总的放大轮廓的放大视图；
- 图 23 显示根据本发明的再一拉曼放大实例的示意图；
- 图 24 显示图 23 中泵激装置的放大轮廓的图；
- 图 25 显示图 24 中所示的总放大轮廓的放大视图；
- 图 26 是说明根据本发明的再一拉曼放大实例的示意图；
- 图 27 显示图 17 中泵激装置的放大轮廓的图；
- 图 28 显示图 27 中的总放大轮廓的放大视图；
- 图 29 显示说明根据本发明的又一拉曼放大实例的示意图；
- 图 30 显示包括一组 13 个泵的泵激装置的放大轮廓图；
- 图 31 显示图 30 中所示的总放大轮廓的放大视图；
- 图 32 显示图 30 中泵激装置的一个变量的放大轮廓的图；
- 图 33 显示图 32 中的总放大轮廓的放大视图；
- 图 34 显示根据本发明的又一控制操作的流程图；
- 图 35 显示根据本发明的级联放大器和相关控制单元的示意图。

优选实施例的说明

参见附图，图 3 给出了根据本发明的拉曼放大器 100。拉曼放大器 100 包括一条放大器光纤（光纤）2、一个 WDM 耦合器 13、一个泵激装置 1、一个控制单元 4 以及一个可选的极化独立隔离器 25。拉曼放大器 100 与输入光纤 12 和输出光纤 16 连接，所述输入光纤 12 和输出光纤 16 可以是传输光纤，诸如单模光纤、色散补偿光纤（DCF）、色散平坦光纤等。

拉曼放大器 100 利用通信链路 311 与网络 3000 连接，该网络又与其它放大器 32、34 以及远程设备控制器 4000 连接。远程设备控制器 4000 监测拉曼放大器 100 的工作状态以及其它放大器 32、34 的工作状态。网络 3000 可以是专有的无线或有线网，或者公众可访

问的其它网，如因特网、或部分专用及部分公众可访问的混合网。

尽管拉曼放大器 100 可以自动工作，但也可以给它提供有关整个系统性能的附加信息，使得控制单元 4 能够使其放大性能有助于抵销任何对该系统性能的不良影响，如表现为条件的变化，并被反映在该附加信息中。例如，附加信息可以是使用具有不同衰减特性的替代光纤来互连两个级联拉曼放大器。在这种情况下，拉曼放大器 4 可以用新的“目标”放大性能，以便使所有 WDM 信道的信道特性正常化，尽管事实上该新的光纤会给一些信道带来衰减，但衰减量较其他光纤要少得多。

泵激装置 1 包括法布里-珀罗 (Fabry-Perot) 型半导体激光器 (即 3_1 、 3_2 、 3_3 、和 3_4)、波长稳定光纤光栅 5 (即 5_1 、 5_2 、 5_3 和 5_4)，极化耦合器 6 (即 6_1 和 6_2) 以及一个 WDM 耦合器 11。半导体激光器 3_1 和 3_2 的中心波长以及光纤光栅 5_1 和 5_2 的波长都是相同的波长 λ_1 ；半导体激光器 3_3 和 3_4 的中心波长以及光纤光栅 5_3 和 5_4 的反射波长都是相同的波长 λ_2 。通过波长稳定光纤光栅 5_1 、 5_2 和 5_3 、 5_4 ，半导体激光器 3_1 、 3_2 和 3_3 、 3_4 的中心波长被分别稳定到 λ_1 和 λ_2 。

半导体激光器 3_1 、 3_2 及 3_3 、 3_4 产生的光由 6_1 和 6_2 对于 λ_1 和 λ_2 各波长进行极化组合。另外，由 WDM 耦合器 11 组合极化组合器 6_1 和 6_2 输出的光。极化保持光纤 17 连接在半导体激光器 3 和极化组合器 6 之间以保持两个不同的极化面，这样确保输入信号被充分放大，无论其在信号光纤 12 或放大光纤 2 中的取向如何。

本实例中的泵激装置 1 包括两台泵，这两台泵向放大器光纤 2 射入两种具有两个不同波长 λ_1 和 λ_2 的光 (即第一泵提供具有 λ_1 中心波长的光，第二泵提供具有 λ_2 中心波长的光)。另外，如在美国专利申请 (申请号为 09/527,748) 中所述，波长 λ_1 和 λ_2 之间的波长间隔选择为大于 6nm 并小于 35nm。

通过 WDM 耦合器 13，由泵激装置 1 输出的光被耦合到放大器

光纤 2。而且，光信号（WDM 信号）通过输入光纤 12 而入射到放大器光纤 2，然后与激励入放大器光纤 2 的光相组合，这样，该入射光信号被拉曼放大。另外，该拉曼放大的光信号通过 WDM 耦合器 13 后并被传送到控制单元 4，其中，放大的光信号的一部分被分出来以形成监测信号（或采样输出信号），另一部分在输出光纤 16 上输出。

现主要论述控制单元 4 的操作和结构。尽管控制单元 4 有不同的实施例，但各实施例的共同特征在于使用了一个处理器来对拉曼放大器的放大性能进行控制。虽然有些实施例在控制单元中包括信号监测功能，应该理解的是，该控制单元可从外部信号源接收监测的输出信号。同样，该控制单元 4 可包括一激光驱动电路，或只是在控制单元 4 之外的驱动电路接口。但在每一情况中，控制单元 4 设有一处理器，该处理器能执行一系列指令（也许通过 PAL 或 ASIC 方式），以说明是否拉曼放大器的输出是在目标放大性能的预定容限内，如果不是时采取纠正措施。

控制单元 4 对监测信号进行监测，并在总线 31 上生成控制信号，总线 31 至少有 N 条控制线，以此来控制半导体激光器 3 的驱动电流，以获得相对于目标增益轮廓（如平稳放大特性）较小的增益偏差。以下将详细说明根据本发明的控制单元。

放大器光纤 2 可以是适用于拉曼放大的专用光纤，如该光纤具有 $3.5\text{E-}20\text{m}^2/\text{w}$ 或更高的非线性折射率“ n_2 ”。该放大器光纤 2 也可以是输入光纤 12 的延伸。另外，色散小于 -20ps/nm/km 的反向色散光纤（RDF）可与单模光纤（SMF）连接，因此，该放大器光纤 2 也可用作传输线。通常，因为 RDF 具有小于 -20ps/nm/km 之色散，所以，可以采用长度与 SMF 之长度相同或大其两倍的 RDF。在这种情况下，拉曼放大器的设计使得激励入光纤的光从 RDF 传向 SMF。另外，放大器光纤 2 可连接并插入传输光纤（未示出），该光信号被

发送到该传输光纤。

图 4、5 给出根据本发明的其他拉曼放大器的实施例。具体来说，图 4 显示一种拉曼放大器 200，其中，在该放大器光纤 2 的输入端设有 WDM 耦合器 13，由光泵激源 1 输出的光经 WDM 耦合器 13 被激励进入放大器光纤 2。在此装置中，引入该放大的光信号中的噪声与在图 3 所示拉曼放大器中引入放大的光信号中的噪声相比，问题较小，因为拉曼放大发生在该信号被衰减之前。另外，图 5 描述拉曼放大器 300 之另一示例，其中，由泵激装置 1 中 A、B 两组半导体激光器输出的光在两个不同方向传输并通过放大器光纤 2。如图所示，在放大器光纤 2 的输入和输出端上分别装有 WDM 耦合器 13 和 13'，使得射入 WDM 耦合器 13' 的光被传输到放大器光纤 2 的输出端，射入 WDM 耦合器 13 的光被传输到放大器光纤 2 的输入端。另外，图 5 给出的泵激装置 1 包括 4 个光泵（即，A 组中的两个泵，各带有一对激光器，及 B 组中的两个泵，各带有一对激光器）。

如图 4 所示，在泵激装置 1 中，第一组 A 中的半导体激光器 3_1 和 3_2 的中心波长与第二组 B 中的半导体激光器 3_5 和 3_6 的中心波长相同。另外，第一组 A 中半导体激光器 3_3 和 3_4 的中心波长与第二组 B 中的半导体激光器 3_7 和 3_8 的波长也相同。再者，光纤光栅 5_1 - 5_8 分别与半导体激光器 3 的中心波长相匹配。

在图 5 描述的实施例，当第一组 A 中半导体激光器 3_1 和 3_2 的中心波长为 λ_1 、第一组 A 中半导体激光器 3_3 和 3_4 的中心波长为 λ_3 、第二组 B 中半导体激光器 3_5 和 3_6 的中心波长为 λ_2 、第二组 B 中半导体激光器 3_7 和 3_8 的中心波长为 λ_4 时，波长 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 和 λ_4 可以是相邻波长。即，有 4 个泵分别产生具有中心波长为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 和 λ_4 的光。另外，相邻泵的中心波长之间的间隔大于 6nm 并小于 35nm，最大中心波长 λ_4 和最小中心波长 λ_1 之差小于 100nm。利用这种装置，便无需很高质量（并因此费用昂贵）的波长组合器。

控制单元：一般功能描述

控制单元 4 实施控制建立目标放大性能之操作的功能，该目标放大性能由拉曼放大器实现，并监测拉曼放大器的信号输出，以保证该放大器实际工作在该目标放大性能的预定容限之内。控制单元 4 开始将识别并设置该目标放大性能，但是，如果它未被提供关于系统级性能的附加信息，且该附加信息在建立该目标放大性能时未加考虑，控制单元 4 也可调整该目标放大轮廓。例如，假设在相邻下行放大器的泵浦激光器中的故障被报告给控制单元 4。于是控制单元 4 可有助于校正该故障，其表现为小于一部分放大中的理想放大量，所述放大是通过增大拉曼放大器 100 中关于一部分放大频带的放大轮廓实现的。

控制单元 4 的第一功能特性在于，它获得目标拉曼放大性能并监测实际输出（拉曼放大的）WDM 信号，以确定监测的放大性能是否处于该目标性能的预定容限之内。控制单元 4 实现这个监测操作是通过识别实际性能与目标性能之间的偏差。如果控制单元 4 确定监测的放大性能在整个放大频带内都是在该目标放大性能的可允许容限之内，那么，控制单元 4 不改变泵激装置的条件并继续监测实际放大性能。但是，若控制单元 4 确定实际放大不在该目标放大性能的可允许容限内，则控制单元 4 通过控制多个泵（或多组泵）的输出功率，可以增减射入放大器光纤的泵激功率，以便保持该目标放大性能。

控制单元 4 的另一功能特性在于，该单元改变泵激装置的目标性能及条件，为拉曼放大产生新的目标性能。例如，需要扩展某个特定通信频带，提供在该网络上的额外信道。为了适应系统要求的这个变化，控制单元 4 可设置泵激装置的另一组条件，如打开或关闭某些泵浦激光器，以便为增加通信带宽实现又一目标性能。该泵

激装置的新条件可添加到现有的条件中，同时，当提供初始目标性能时，就可设置初始条件。

本发明的第三特性在于，控制单元 4 与级联装置中的其他放大器连网，因此，通过调整级联放大器之间的放大轮廓，系统整体性能对于 WDM 信号仍保持最佳，尽管实际上与原始的系统设计比较，通信条件可能在某些方面有所变化。例如，通过调整相邻放大器之间的放大轮廓，通过调整一个或多个相邻放大器的放大轮廓，可以校正所选择泵故障。例如，控制单元 4 可以调整预级联的和/或后级联的拉曼放大器的放大性能，以抵销连接在其间的拉曼放大器产生的任何问题。其他条件也可以被补偿，如使用不同的光纤，其衰减特性与原始光纤不同，或在两个拉曼放大器之间插入另一网络部件（如交换器或放大器）。

除了初始设置目标放大性能外，控制单元 4 还可实现所有三个方面。以下将论述对目标放大进行初始设置、保持以及改变的过程。但是，在描述这些过程之前，首先参照图 6-10 描述控制单元 4 中所采用的部件。

控制单元：部件描述

如图 6 所示，控制单元 4 包括抽头耦合器 14，它经光纤与激光二极管 (LD) 控制单元 15 连接，该光纤传送部分 WDM 光信号给 LD 控制单元 15。由图可见，虽然抽头耦合器 14 安装在控制单元 4 中，但它也可以是连接控制单元 4 的外部部件。同样，LD 控制单元 4 的独立部件可以是分立部件，没有必要组装在一个共用控制单元外壳中。

LD 控制单元 15 多路分解 WDM 监测信号（即由抽头耦合器 14 提供的部分经放大的 WDM 信号），然后将该多路分解信号转换成电信号。电信号采样被传输到控制器 2000 用作放大控制处理（例如参

照图 11 的详细说明)。鉴于控制单元 4 实现的一个功能是监测拉曼放大器的实际放大性能, LD 控制单元 15 对电信号采样, 并依照目标放大性能对这一系列采样进行比较。LD 控制单元 15 和控制器 2000 实现的采样过程不必在逐个 WDM 信道之基础上实施。当然, LD 控制单元 15 和控制器 2000 可以实施该控制过程并采用大于或小于每个 WDM 信道一个采样组的光谱分辨率。光谱分辨率及采样随后将作详述。如图所示, LD 控制单元提供输出控制线 31N, 用于控制各泵浦激光器 3 的光输出能级(见图 3)。LD 控制单元 15 也与控制器 2000 相互交换采样数据和控制信息。控制器 2000 连接数据通信网络 3000, 如因特网, 与远程设备控制器 4000 以及其它放大器 32、34 交换数据和控制信息。

图 7 和图 8 给出 LD 控制信号单元 15 的子部件的详细描述。在图 7 中, LD 控制信号单元包括串联的波长多路分解器 18、光电转换装置 19(如光电二极管)和 LD 控制电路 20。该波长多路分解器 18 将监测到的 WDM 光信号分成多个光采样信号, 这些信号的中心波长均不相同。如上所述, 例如经多路分解的光采样与 WDM 信号的信道相对应。多路分解器 18 的功能就是再一次隔离正由拉曼放大器 100 放大的 WDM 信号的独立光谱分量。为实现基本的控制方案, 多路分解器 18 可以只提供两个采样信号, 也许其中的一个在该放大频带内较短的波长上, 另一个在该放大频带中较长的波长上。然而, 采样信号太少时, 其限制在于, 采样信号的分辩率不足以用于观测该拉曼放大器的增益轮廓未在目标放大性能之预定容限(如, 1dB)内的子频带。另一方面, 采样信号太多时, 又会不必要地增加控制单元 4 中处理资源的开销和难度。因此, 作为实际的准则, 设置产生的采样信号的数量要对应于由拉曼放大器处理的 WDM 信道数, 或对应于拉曼放大器所采用的泵浦激光器的数量。因此, 该多路分解器为密集 WDM 信号产生的采样信号的一般数量将在 10 至 100 的

范围中。但是，也可以采用更少的数，例如上述的 2，或者采用等于或大于 1000 的数。

光电转换装置 19 将多路分解的光采样信号转换成电信号。根据相应的多路分解的采样信号的大小，转换装置 19 的输出电流会有变化。通过总线 32，控制器 2000 接收该电流，其中控制器 2000 采样相应的电流以生成采样信号的数字再现信号。另一种方式是，控制器 2000 从 LD 控制电路 20 接收该采样信号的数字再现信号，LD 控制单元 20 对该采样信号进行数字化处理。同样，转换装置 19 提供数字化输出。

由图可知，LD 控制电路 20 是与控制器 2000 分离的控制器，但这两个器件可合并成一个单独的基于处理器的控制器。然而如图 7 所示，控制器 2000 被设计实现为基于嵌入式数字信号处理器的控制器，而主要的模拟处理则在 LD 控制电路 20 中完成。例如，在一实施例中，基于某种拟实现的目标放大性能，控制器 2000 在存储器中为独立的泵浦激光器保持适当的驱动电流值。一旦识别出这些驱动电流值，控制器 2000 便（通过数字信息或单个模拟信号）通知 LD 控制电路 20，据此，LD 控制电路 20 便可控制包含其中的激光驱动电路，来生成所需的泵浦激光驱动电流。但在另一实施例中，LD 控制电路 20 工作在数字方式，并且自身在存储器中保存与实现目标放大性能相关的驱动电流值。在此情况下，LD 控制电路 20 向半导体激光器 3 发送控制信号（例如参见图 4），激光器 3 自己具有响应该控制信号的驱动电路，或与分离的驱动电路互联。

图 8 给出控制单元 4 的又一实施例。与图 7 给出的实施例不同之处在于，图 8 中的实施例包括一功率分配器 21 和带通滤波器 22。功率分配器 21 将已由抽头耦合器 14 分流的监测 WDM 光信号分成多个采样信号。例如，功率分配器 21 可将分流的 WDM 信号分到相应数量的 WDM 信号信道。带通滤波器 22 具有不同的中心波长以及

固定宽度的通带，它只允许指定通带内具有光能的相应采样信号之部分通过其中。光电转换器 19、控制器 2000 以及 LD 控制电路 20 均与以上参照图 7 的描述相同。应该注意，虽然一直在着重讨论对从拉曼放大器的放大输出进行采样以实现控制操作，但如图 9 所示，控制单元 4 也可对拉曼放大器的输入信号进行采样。通过直接测量输入光信号和输出光信号，控制单元 4 便能产生放大器增益的直接测量值及其放大增益的轮廓。另一种输入电平测量方法是，控制器 2000 可从上行拉曼放大器 30（如见图 35）接收信息，该信息描述 WDM 信号离开拉曼放大器 30 时的输出电平值。对于互连放大器 30 和放大器 32 的光纤，由于其光纤损耗特性一般是众所周知的，在放大器 32 中的控制器 2000 能够计算输入到拉曼放大器 32 的 WDM 信号的视在电平。

图 10 给出控制器 2000 中所使用部件的一个实施例。控制器 2000 包括总线 1202，它使处理器 1203 与控制器中其他部件互连。主存储器 1204 与总线 1202 连接，用于存储信息以及由处理器 1203 执行的指令，它可以是诸如随机存取存储器（RAM）或其他存储器件（如，动态 RAM（DRAM）、静态 RAM（SRAM）和同步 DRAM（SDRAM））。此外，该主存储器 1204 也可用于存储在处理器 1203 执行指令期间的临时变量或其他中间信息。也可以在总线 1202 上连接只读存储器（ROM）1205 或其他静态存储器件（如可编程 ROM（PROM）、可擦除 PROM（EPROM）和电可擦除 PROM（EEPROM）），用于存储静态信息和处理器 1203 的指令。

控制器 2000 还包括一可选的连接总线 1202 的盘控制器 1206，以控制一个或多个可选的用于存储信息和指令的存储装置，如硬盘 1207 和活动式介质驱动器 1208（如软盘驱动器、只读光盘驱动器、读/写光盘驱动器、小型光盘播放机、磁带驱动器和活动磁光驱动器）。使用适当的设备接口（如小型计算机系统接口（SCSI）、集

成设备电路 (IDE)、增强型 IDE (E-IDE)、直接存储器存取 (DMA) 或超级 DMA), 可以在 LD 控制电路 20 上增加上述存储装置。采用硬盘驱动器 1207 和活动介质驱动器 1208 时, 在其上保存记录数据, 用于随后由技术人员在维护拉曼放大器时进行检索, 或由远程设备控制器 4000 进行远程检索。

可选的是, 控制器 2000 包括与总线 1202 连接的显示控制器 1209, 以控制一可选的显示器 1210, 如阴极射线管 (CRT), 用于为网络工程师或维护拉曼放大器的技术人员显示信息。LD 控制电路 20 包括接纳输入装置的接口, 如键盘 1211 和指示器 1212, 供网络工程师人机对话并给处理器 1203 提供信息。例如, 指示器 1212 可以是鼠标、跟踪球或是指示杆 (pointing stick), 用来向处理器 1203 传达方向信息和命令选择, 并用于控制光标在显示器 1210 上的移动。另外, 还可包括一打印机接口和一台可选的打印机, 以提供数据结构/信息、或控制器 2000 存储和/或生成的任何其他数据的打印清单。

控制器 2000 也可包括专用逻辑装置 (如专用集成电路 (ASIC))、或结构逻辑装置 (如简单可编程逻辑装置 (SPLD))、复杂可编程逻辑装置 (CPLD) 以及现场可编程门阵列 (FPGA), 以实现全部或部分的逻辑操作。

通过处理器 1203 执行存储器 (如主存储器 1204) 中的一个或多个指令的一个或多个序列, 控制器 2000 实现一部分或全部控制过程的处理步骤。这样的指令可从其他计算机可读介质 (如硬盘 1207 或活动介质驱动器 1208) 读入主存储器 1204, 或从其他计算机 (如远程设备控制器 4000) 下载到主存储器 1204。另外, 也可使用多重处理装置中的一个或多个处理器执行主存储器 1204 中的指令序列。在其它的实施例中, 也可使用硬连线电路取代软件指令或与之结合使用。因此, 这些实施例不限于硬件电路和软件的任何特定组合。

如上所述, 控制器 2000 至少包括一个计算机可读介质或存储器

用于保存根据本发明之思想编程的指令，以及保存数据结构、图表、记录或其中描述的其他数据。计算机可读介质的示例包括光盘、硬盘、软盘、磁带、磁光盘、PROM (EPROM、EEPROM、闪速 EPROM)、DRAM、SRAM、SDRAM、或其他磁性介质、光盘（如，CD-ROM）、或其他任何光介质、穿孔卡、纸带或其他带孔状图案的物理介质、载波（下面描述）、或其他任何计算机可读介质。

计算机可读指令存储在任一的、或组合的计算机可读介质上，计算机可读指令包括用于运行控制器 2000、用于驱动泵激装置以及用于使控制器 2000 能够与用户进行人机对话的软件。此类软件可包括但并不局限于设备驱动软件、操作系统、开发工具及应用软件等。这样的计算机可读介质进一步包括本发明的计算机程序产品，用于执行在实现本发明的控制方面中所进行的全部或部分处理过程（如果处理是分布式的）。

本发明的计算机编码装置可以是任何可解释或可执行的编码装置，其中包括但不限于原程序（script）、可解释程序、动态链接库（DLL）、Java 类程以及完全可执行程序等。而且，为实现更好的性能、可靠性和/或成本，本发明的部分处理可以是分布式的。

本文所用的术语“计算机可读介质”是指可给处理器 1203 提供用于执行的指令的任何介质。计算机可读介质可以有很多形式，包括但不限于非易失性介质、易失性介质和传输介质。非易失性介质例如包括光盘、磁盘及磁光盘、如硬盘 1207 或活动介质驱动器 1208。易失性介质包括动态存储器，如主存储器 1204。传输介质包括同轴电缆、铜导线和光纤，其中包括制成总线 1202 的导线。传输介质也可是声波或光波之形式，如无线电波、光和红外数据通信中产生的波的形式。

在执行给处理器 1203 用于执行的一个或多个序列的一个或多个指令的过程中，可涉及各种形式的计算机可读介质。例如，这些指

令起初可载入远程计算机的磁盘上。该远程计算机可以将这些用于全部或部分实现本发明的指令调入动态存储器，然后用调制解调器通过电话线路发送指令。控制器 2000 的本地调制解调器可在电话线路上接收该数据，并使用红外发射器将该数据转换成红外信号。与总线 1202 耦合的红外检测器可接收该红外信号中传送的数据并将数据输入总线 1202。该数据再由总线 1202 传送到主存储器 1204，处理器 1203 从该主存储器中检索并执行这些指令。在处理器执行这些指令之前或之后，可选的是，主处理器 1204 接收的指令可被存储在存储装置 1207 或 1208 中。

控制器 2000 还包括一个与总线 1202 耦合的通信接口 1213。接口 1213 通过总线 32 和链路 311 分别提供与 LD 控制单元 20 和网络 3000 的通信链接。接口 1213 也可提供因特网连接，这样，网络工程师可远程控制 LD 控制电路 20（如远程设备控制器 4000（见图 4）），其远程终端本身也可具有类似于图 10 的结构。例如，接口 1213 可以是连接在任何分组交换 LAN 或其他网络 3000（见图 4）上的网络接口卡。在另一示例中，该接口 1213 可以是一非对称数字用户线路（ADSL）卡、一综合业务数字网（ISDN）卡、或调制解调器，提供对相应类型的通信线路的数据通信连接。也可以实现无线链路。在任何这样的实现方案中，通信接口 1213 对远程设备收发带有表示各种类型的信息的数字数据流的电信号、电磁信号或光信号。

控制过程

图 11 给出控制单元 4（见图 10）的运行过程之流程图。其控制过程如下：（1）建立预定目标放大性能（如预定放大带宽上的放大轮廓、或输出信号功率轮廓），（2）监测实际放大性能是否在目标放大性能之预定容限内，（3）若实际放大性能未在该预定容限内，采取校正措施。具体来说，步骤 S2、S4、S6 分别识别目标输出放大性

能、确定用于实现目标输出放大性能的放大器参数（如泵浦激光器驱动电流）、及应用这些参数实现该目标性能。步骤 S8、S10、S12 和 S14 则用以保证实际放大性能处于该目标放大性能之预定容限内，和/或至少采用一个可接受的轮廓波形（如平坦或者倾斜的轮廓斜面）。

识别目标输出放大性能（步骤 2）

由图 11 可知，该过程始于步骤 2，其中，输入的 WDM 光信号特征（A）（如，放大频带的子带中测得的一个光信号平均电平）和（初始的）目标放大性能（B）被提供给控制单元 4（或由控制单元 4 产生）并存储在存储器 1204（图 10）。目标放大性能可用表示预定增益轮廓的一系列值表示，该预定增益轮廓是由系统操作人员设定，以实现要求的系统性能。由于增益与输出信号的电平相关，输出信号又与输入信号相关，该输入信号电平可被直接或间接地识别，后文将作论述。而且，倘若系统操作人员希望拉曼放大器工作并具有预定增益轮廓，那么，首先要以几种方式之一确定输入的 WDM 光信号特性（A），以下将作论述。

可在对拉曼放大器的输入端直接测量 WDM 信号电平。在此情况下，控制单元 4 可通过将目标增益（经线路 311 输入后存在存储器中，见图 10）与测得的输出信号以及施加于放大器的光信号电平之比值进行比较，可以检验该目标增益被实现。另一方式是直接测量输入信号电平，该信号电平可以从下行拉曼放大器（如放大器 30，见图 35）向该拉曼放大器（如放大器 32，图 35）报告的输出信号电平得到，由于两个拉曼放大器之间的光纤损耗导致的衰减量，该信号电平小于估计值或测量值。更进一步讲，该输入电平可从控制单元 4 所采用的过程推断出来，其中，将已知功率的信号输入拉曼放大器，然后，识别为产生在主（subject）拉曼放大器输出端测量的预定输出电平而施加于相应泵浦激光器的驱动电流量，并保存于

存储器中。随后，根据与存储在存储器中的值相关的驱动电流量的改变，可以估计该放大量值。例如，可以实现这个随后的过程，作为机内测试期间或校准操作期间的初始步骤。再一办法是，可由外部信号源来提供目标输出 WDM 光信号特性 (C)，并存于存储器而取代目标放大性能 (B)。在此情况下，根据 (A) 和 (C) 计算目标放大性能 (B)，并存于存储器 1204 中。例如，在工作条件下，由控制单元 4 的主存储器可提供、存储、读取目标放大性能 (B) 及 WDM 光信号特性 (A)。

计算与模拟用于获取目标输出放大性能（步骤 S4）的放大器参数（如泵浦激光器驱动电流）

在步骤 S2 中获得目标放大性能以及相关参数（如，输入信号电平，如果目标放大性能被实现为放大器增益）之后，接着进入步骤 S4。步骤 S4 中，通过同时进行的计算/模拟、或查看保存有原先确定并为各种条件而存储的参数的查询表，确定用以实现目标放大性能的放大器参数。在本文中，放大器参数将被描述为由泵浦激光器驱动电路（位于控制单元 4 中或与泵浦激光器 3 相邻）产生的驱动电流。但放大参数可以是光衰减器（未示出）作用的衰减量，该衰减器衰减以固定驱动电流（如 I_{\max} ）驱动的泵浦激光器的光输出。

虽然本文主要讨论与目标放大性能相关的泵浦激光器驱动电流，但控制单元 4 还可考虑其他的工作条件，如光信号测量操作中内部固有损耗、光纤损耗、泵对泵的相互影响或泵浦激光器的老化。为补偿这些附加条件，如光纤损耗（衰减），预置多组驱动电流值并存储在存储器中。该多组驱动电流值对应于可用于选择的各增益轮廓，以便补偿光纤损耗等。选择说明附加条件的目标性能类似于通信系统中的“预加重”或“后加重”，在此“后加重”适用于使用拉曼放大器的拉曼放大上行的上下文。在任一情况下，收集调整的驱

动电流作为表中的值, 图 13 给出其一个示例。上述值可由控制单元 4 从存储器中取出并用来控制要求补偿波长相关光纤损耗特性的驱动电路。

在 CIBC 世界市场 2000 年 11 月 28 日出版《光子学》(Photonics) 中给出一示例, 如图 12 所示, 在波长 1400nm 处, 光纤中的衰减量远大于在 1500nm 处, 这是众所周知的。处理这个衰减差值的常规方法只是简单地使用具有最小衰减的那部分光谱。本发明采取的则是不同的方法, 即采用一个放大轮廓补偿在传输频带内的非均匀衰减特性。由图 13 可见, 主存储器 1204 保存具有在 1400nm 处的峰值拉曼增益的泵浦激光器的驱动电流 (560mA), 它大于具有在 1500nm 处的峰值拉曼增益的泵浦激光器的驱动电流 (100mA), 其中的光纤损耗很小。因此, 通过采用如图 13 所示的表便可确定驱动电流, 从而实现目标放大性能。在 LD 控制处理器 2000 的存储器中的数据表中还可存储影响目标轮廓的其他参数。

提供目标放大性能的模拟过程之示例

当前已有可用的模拟程序, 在初始时可计算所需的驱动电流以实现需要的输出轮廓。例如, 可用下列等式表示 WDM 泵和信号的演变。

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_{\nu}^{\pm}}{dz} = & -\alpha_{\nu} P_{\nu}^{\pm} + \varepsilon_{\nu} P_{\nu}^{\pm} \\
 & + P_{\nu}^{\pm} \sum_{\mu > \nu} \frac{g_{\mu\nu}}{A_{\mu}} (P_{\mu}^{+} + P_{\mu}^{-}) \\
 & + 2h\nu \sum_{\mu > \nu} \frac{g_{\mu\nu}}{A_{\mu}} (P_{\mu}^{+} + P_{\mu}^{-}) \left[1 + \frac{1}{\exp\left[\frac{h(\mu - \nu)}{kT}\right] - 1} \right] \Delta\mu \\
 & - P_{\nu}^{\pm} \sum_{\mu < \nu} \frac{\nu}{\mu} \frac{g_{\mu\nu}}{A_{\nu}} (P_{\mu}^{+} + P_{\mu}^{-}) \\
 & - 4h\nu P_{\nu}^{\pm} \sum_{\mu < \nu} \frac{g_{\mu\nu}}{A_{\nu}} \left[1 + \frac{1}{\exp\left[\frac{h(\nu - \mu)}{kT}\right] - 1} \right] \Delta\mu
 \end{aligned} \tag{1}$$

式中，下标 μ 和 ν 表示光频率，上标 “+” 和 “-” 分别表示前向传输波、后向传输波。 P_ν 表示 ν 周围的光功率，它是 ν 上的功率谱密度与无穷小带宽 $\delta \nu$ 的产物。 α_ν 是衰减系数， ϵ_ν 是瑞利反向散射系数， A_ν 表示光纤在频率 ν 上的有效区域， $g_{\mu\nu}$ 表示频率 ν 上由于在频率 μ 上的泵引起的拉曼增益参数， h 是普朗克常数， K 是波兹曼常数， T 表示温度。该等式可包括实际系统中几乎所有可观测的可能效果，如泵对泵以及信号对信号的拉曼互作用、因拉曼能量转换导致的泵损耗、瑞利反向散射、光纤损耗、自发发射噪声及黑体辐射噪声。主存储器 1204 保存计算机可读指令，这些指令包括被编码于其中的等式 (1)。处理器 1203 执行上述指令，以便根据不同泵浦激光器提供的聚集放大效应来模拟目标放大性能。

如何设置目标放大性能之示例

说明如何设置目标放大性能（图 11 的步骤 S4）的示例过程时，参见图 14、15A 和 15B。图 14、15A、15B 和 16 所示的叠加原理用于根据本发明的一个实施例，以确定获得平坦（或任意形状）的拉曼放大性能所需的适当条件（如泵的中心波长、泵输出功率）。

图 14 给出两个泵浦激光器对于波长的单个的及合成的拉曼增益轮廓，两个泵浦激光器工作在 1424.2nm 和 1451.8nm。因为本发明适用于如图 12 所示的光谱频段，例如，这些泵浦激光器可称作 YYXX 激光器（YY 是在 13 至 15 之范围、XX 是在 00-99 之范围）。例如，为在 S 频段至 L 频段产生一个拉曼增益，YYXX 激光器则可以叫做 14XX 泵浦激光器（如 1400nm-1499nm）。图 14 给出的轮廓 “a” 是拉曼放大增益轮廓，它是由工作在 1424.2nm 之中心波长的单个泵浦激光器产生的。同样，工作在中心波长为 1451.8nm 的单个泵浦激光器产生的放大轮廓以轮廓 “b” 表示。两个泵同时工作所得到的总的

拉曼放大轮廓示为“c”，并通过叠加原理（即这些轮廓是附加的）确定。即，根据叠加原理，可以相加各泵引起的放大轮廓得到对应于这两个轮廓之和的总放大轮廓。

图 15A 和 15B 用于本发明关于建立目标放大性能的叠加原理的另一示例。如图 15A 所示，在较短波长上的 4 个泵浦激光器（即第一组）被设于第一预定增益电平（或光输出电平），第五泵浦激光器（即第二组，本例中只带一个泵浦激光器，但还可增加）被设于较高增益电平。第五泵浦激光器与第一组中最靠近的泵浦激光器在波长上分离，其波长间隔要大于第一组中相邻泵浦激光器的波长间隔。另外，第一组中的泵浦激光器设置的增益电平大致相等，彼此大约间隔 20nm（虽然 6-35nm 的范围是合理的分隔范围，增益轮廓中的明显的拐点最小）。在本例中，第五泵浦激光器工作在 1495.2nm 的中心波长（比第一组中最近的泵浦激光器高出 29.2nm，它工作在 1466.0nm），并被设置产生几乎比第一组的各泵高三倍的有效增益。

图 15B 与图 15A 对应，它说明叠加原理如何适用于在第一组和第二组中的泵浦激光器所生成的放大轮廓。放大轮廓“a”、“b”、“c”和“d”对应于第一组中的泵浦激光器，它们分别工作在 1424.2nm、1437.5nm、1451.8nm、1466.0nm 上。轮廓“g”对应该第一组的合成特性，轮廓“e”对应第二组中的泵浦激光器提供的轮廓，即 1500nm（虽然可以用多个泵浦激光器形成该第二组，如 2 个或 3 个）。注意，相应的放大峰值发生在比源泵工作的波长约长 100nm 的波长处。

目标放大增益轮廓“e”（见图 14）和“f”（见图 15B）是运用叠加原理而生成的。如图所示，通过调整泵浦激光器的输出，给出泵浦激光器工作波长的特定间隔，预计放大增益轮廓的结果波形可以形成为基本平坦形，或者设成任意波形。例如，图 15B 给出的放大特性“f”可以有斜面，以便通过减少第二组的增益而在整个放大频带具有负斜率，即该泵工作在 1500nm 的中心波长。同样，通

过增加第一组的输出，该轮廓也能倾斜而呈负斜率（即增益轮廓“g”）。反之，通过降低第一组的输出和/或增加第二组的输出，可以使目标放大轮廓“c”（见图 14）和“f”（见图 15B）具有正斜率。由一组泵提供的增益轮廓“g”和“e”（图 15B）可称为“元素增益轮廓”。由于在这些组中通常有更多的泵浦激光器工作在较短波长上，所以，在元素增益轮廓中，较短波长与较长的波长比较，有可能产生更多的高阶增益波形特性。

设置泵浦激光器的光输出，以初始建立目标放大性能（S6）

步骤 S4 完成之后，进行步骤 S6。在 S6 中，控制单元 4 通过将先前确定的放大参数用于泵浦激光器，对泵浦激光器的光输出实施控制。例如，在预定容限内，当模拟放大性能与目标放大性能一致时，根据模拟中确定的各泵浦激光器的峰值放大输出电平，在查询表中识别各泵浦激光器相应的驱动电流，该查询表的确定。另一种方法是，或作为补充，也可对控制单元 4 编程，以调整可编程衰减器所显示的衰减量，该衰减器可与每一泵浦激光器耦合，以便控制泵浦激光器的相应的光输出，使之与获得的目标放大性能相一致。因此，放大器参数与作用于承载光纤的光能量度相关，不必只是作用于泵浦激光器的驱动电流。

实际放大性能的监测与保持（S8、S10、S12、S14）

在图 11 的控制过程中，步骤 S6 到步骤 S8 的转变是从启动放大性能到监测与调整实际放大性能在目标放大性能的预定容限频带之内的转变，所启动的放大性能大致上相当接近该目标放大性能。在该控制过程中，监测与调整部分始于步骤 8，其中，控制单元 4 监测输出的 WDM 信号，而且，也许还要监测实际输入的 WDM 信号，如参见图 9 的如上所述。

步骤 S8 有多种实现方式。一种方式是，在放大频带上取若干个测量值，如对每个泵浦激光器都进行一次平均功率测量。在此情况

下, 放大器子带与各泵浦激光器之间将出现一对一的对应, 如图 7 所示。采样由 LD 控制处理器 20 (见图 7) 提取, 并通过总线 32 传给处理器 2000。但对监测步骤实现的间隔大小 (granularity) 并无限制。分辨越高 (即, 采样点/Hz), 那么确定实际放大性能符合目标放大性能的程度的能力也就越大。但是, 当分辨率达到对应于最接近泵浦激光器间隔 (如, 单个泵浦源间隔不少于 6nm) 的水平后, 所获得的进一步的好处很小, 除非组合多个激光器输出来增加光输出功率。在另一极端, 如果分辨率只受限于几个点, 就较难判断采样点之间是否存在拐点 (inflection points)。因此, 具有一般与该泵浦间隔相对应的分辨率, 有助于保证与整个放大频带上的目标放大性能保持可靠的一致性, 而且还不浪费处理资源。在获得了采样点之后, 控制单元 4 在存储器 1204 (见图 10) 中存入输出的 WDM 信号的采样点, 用于随后的处理。

步骤 S8 结束之后便进入步骤 S10, 其中, 通过查询, 在整个放大频带中确定实际 (监测到的) 放大性能是否在目标放大性能的某一容限之内 (如, 对严格一致为 5dB, 对不太严格的一致为 1dB)。在一实施例中, 根据以下的等式 (2) 并对逐个采样进行这种确定:

$$ABS[\text{目标}-\text{监测结果}] \leq (\text{某一容限}) \quad (2)$$

另一种方法是, 可组合监测采样的平均值, 以预定子带上产生平均放大性能。如果这样, 既可减少要求的计算量, 又可允许控制单元 4 测量关于目标放大性能的“波形”的一致性。例如, 如下所述, 控制单元 4 可以控制多组泵浦激光器来影响要求的放大性能。假定泵浦激光器的控制是通过控制泵浦激光器为两组来处理。那么, 控制单元 4 便能够计算较短波长 (第一组) 的平均输出电平以及较长波长 (第二组) 的平均输出电平。这就允许控制单元 4: (1) 确定整个放大频带上的平均放大性能是否在容限内, (2) 确定是否需要总放大性能的斜面 (即斜率) 做出一定量的调整。

参见图 11 的流程图，如果对于所有采样点（或也可以是预定的采样点数量或是所有采样点的百分比），对在步骤 S10 中的查询的响应是肯定的（是），那么该过程则返回到步骤 S8。但如果对在步骤 S10 中的查询的响应是否定的，则接着进入步骤 S12。

在步骤 S12 中，控制单元 4 对各采样点测得的偏差量进行比较。如未出现连续偏差模式（如相邻的两个采样均在预定容限之外），于是，控制单元 4 进行一调整过程，其中要对其峰值放大轮廓最接近偏差发生处的泵浦激光器的光输出作（上或下）调整。除此之外，如果该控制单元 4 发现该偏差被隔离在一小部分放大频带上，那么，控制单元 4 对泵浦激光器的光输出进行调整，所述泵浦激光器的峰值输出对该部分放大频带的影响最强。

但在步骤 S12 中，如果控制单元 4 确定有一系列相邻监测放大轮廓的采样背离目标放大性能而超出该预定容限，那么，控制单元 4 就要实施一不同的处理。在后一情形下，控制单元 4 建立“辅助目标放大轮廓”。该辅助目标放大轮廓的波形是根据目标放大性能和监测得到的放大轮廓之间的差值而形成的。与步骤 S4 相当类似，控制单元 4 然后确定（如，通过模拟或查表法）一组能作用于泵浦激光器的放大器参数（如，泵浦激光器驱动电流），使监测到的放大轮廓更接近匹配目标放大轮廓。因此，控制单元 4 建立辅助目标放大轮廓，在加入监测到的放大轮廓时，就形成一种新的放大轮廓，在整个放大频带上，这种新的放大轮廓更为可靠地处于目标放大轮廓的预定容限内。

S12 步骤一完成，该过程进入步骤 S14，其中，控制单元 4 使受影响的泵浦激光器的光输出被调整一个必要的量，以实现辅助目标放大轮廓。然后该过程返回到步骤 S8，继续监测与调整操作。

使用泵浦激光器组以设置及保持放大性能之示例

采用控制单元 4，通过调整各个泵浦激光器输出的方式来实现

放大轮廓的设置与保持。但是，也可通过调整相应的泵浦激光器组的元素轮廓 (element profile) 来实现控制。如以上所述，各元素轮廓的实现是通过组合该组中的泵浦激光器的相应增益轮廓。那么，在变化总的放大性能时，可以调整元素增益本身来降低控制过程中的自由度。例如，可快速调整两个元素轮廓的电平，在总放大轮廓上给出一斜率变化。如前所述，通过提高第二元素的增益和/或降低第一元素的元素轮廓之增益，可建立一正斜率。反之，如果提高第一元素的轮廓和/或降低第二元素的轮廓，可在总放大性能上获得一负斜率。

如上述，可使用基于计算机的模拟过程来有效确定调整各元素轮廓的量值，从而实现要求的效果。例如，可使用两步模拟过程，其中，元素轮廓的识别是通过元素分析而完成的（即，进行模拟以确定归因于每一泵浦激光器的相应增益电平，以得到要求的元素轮廓）。然后进行第二步，调整元素轮廓的电平来提供要求的预定波形的总放大轮廓。例如，在操作的初始设置模式期间，可建立元素轮廓（如图 11 的步骤 4），然后第二模拟步骤则可在步骤 S12 中实现，以识别各元素轮廓应调整的量，以保持总的放大性能处于预定容限内。

关于初始建立元素轮廓，本发明者发现，因为希望用所要求的较低功率来实现高效增益，较长波长频带（第二元素轮廓）的元素增益轮廓暂时根据所要求的目标放大增益轮廓来设置。而且，把第二元素轮廓设在足够高的增益上，以保证第二元素轮廓能基本上产生在放大频带的较长波长部分所要求的增益。当使用了这种方法时，负载 (burden) 便转到控制单元 4 上，来设置第一元素增益轮廓，使之匹配目标放大轮廓与第二元素增益轮廓之差。因为在较短波长组中（即第一组）有更多个泵浦激光器，所以，就有更多的泵浦激光器可用于建立更为复杂波形的第一元素轮廓。

在设置第一元素轮廓的波形时, 控制单元 4 可考虑附加条件。例如, 附加条件之一可能就是光纤中的光纤损耗量。该光纤损耗在拉曼放大器安装时可以确定, 这样, 变化取决于拉曼放大器的操作设置。光纤损耗随时间而发生变化, 也许基于系统操作员增加另一放大器并更接近主拉曼放大器, 这样便缩短了输出光信号被再次放大之前必须行进的距离。作为另一“附加条件”的示例, 第一元素轮廓可用来补偿可能承受的泵对泵的互作用。参见图 16, 由该图可知, 泵对泵的互作用将可能使在较长波长上的总放大性能(特性“f”)呈膨胀状。用控制单元 4 来处理上述附加条件, 便可能使控制单元 4 改变相应元素轮廓的波形, 这样, 总的放大性能达到最佳, 尽管在拉曼放大器将工作在附加条件存在的情况下。

在图 16 中说明泵对泵的拉曼互作用, 曲线 a、b、c、d、e 和 f 分别对应于 1420nm 泵、1435nm 泵、1450nm 泵、在较短波长的 3 个泵的元素增益、1495nm 泵(在较长波长的 3 个泵的元素增益)、无泵对泵互作用时的总增益、含有泵对泵互作用时的总增益。

在另一示例中, 说明控制单元 4 如何调整元素轮廓作为一种简化的控制机制(相对于同时调整所有泵浦激光器), 假定以平坦增益为目标时, 观测到带斜率的增益。在此情形, 控制单元 4 可通过调整第一组泵和/或第二组泵的光输出来修正该带斜率的增益。一种调整过程是, 对各泵的驱动电流施加递增变化, 直至总增益轮廓被再调整到相对平坦的总增益轮廓“f”(见图 15B)。然后将驱动电流增量存储于存储器 1204 中, 以备将来对总放大轮廓作调整时快速检索。

通过调整元素轮廓的级, 可有目的地设计控制单元 4, 使其提供带斜率的增益。例如, 如果光通信链路中的通信参数在整个光谱频带内是均匀的, 那么, 在整个放大频带上的平坦增益是适当的。但光纤中的损耗与波长相关, 因此, 当经过级联放大器之间时, WDM

信号的有些信道可能比其他信道被衰减更多。在此情况下，通过“预加重”会被衰减的光信号、更多地是通过调整元素轮廓来建立一带斜率的总轮廓，控制单元 4 可以抵销这种工作条件。

使用泵浦激光器组建立和保持放大增益轮廓的数字示例

以下给出一数字示例以进一步说明在控制单元 4 实现简化的控制过程可以使用激光器组，以建立并保持放大增益性能在目标放大性能的预定容限内。假定相应 WDM 光信号的功率水平（如信道 1-10）均匀地在 -20dBm。也假定拉曼放大器作用的净目标增益大约为 10dB，并考虑到由抽头耦合器及 WDM 耦合器引起的内部损耗。因此，拉曼放大器的实际每信道输出功率水平应呈均匀分布，并且具有约 -10dBm 的值（即 -20dBm+10dB）。控制单元 4 可以保持一个存储值来表示每信道的输出信号电平为 -10dBm。因此，在其监测操作期间，如果控制单元 4 确定了每信道输出信号高于或低于 -10dB 信号电平的量大于一指定量，控制单元 4 可使元素轮廓提高或减少一个适当的量，以抵消来自预期输出电平的偏差。例如，控制单元 4 可根据 -10dBm 的目标值来确定以下实际输出功率电平和相应的偏差值：

信道编号	实际输出功率电平	与目标的偏差
信道 1	-15.0dBm	5.0dBm
信道 2	-14.5dBm	4.5dBm
信道 3	-14.0dBm	4.0dBm
信道 4	-13.5dBm	3.5dBm
信道 5	-13.0dBm	3.0dBm
信道 6	-12.5dBm	2.5dBm
信道 7	-12.0dBm	2.0dBm
信道 8	-11.5dBm	1.5dBm

信道 9	-11.0dBm	1.0dBm
信道 10	-10.5dBm	0.5dBm

然后，控制单元 4 将确定采样点之间存在一系列（即多于 1 个）偏差，并由此在增益电平中对元素轮廓进行上下调整。通过对这一系列偏差的观察，控制单元 4 已有效地确定了“辅助目标放大轮廓”。这样，该控制单元就可以通过增加第一组的元素增益来补偿该偏差值，从而建立一个斜率更大的总放大轮廓，它更符合目标放大轮廓。另外，如果需要，也可通过调整第一组内的泵浦激光器的光输出而调整第一元素轮廓。

另一种方法是，控制单元 4 可查看该存储器来识别驱动电流调整值，该调整值与目前测得的辅助目标放大轮廓在先前是相关的。而且，该存储器保存关于第一和第二组中的各泵的多组驱动电流调整值，该值是预先设置的，用以建立特定的辅助目标放大轮廓，因为存储器可保存的只是有限数量的、预先存储的辅助目标放大轮廓，所以，控制单元 4 基于观测到的辅助目标放大轮廓来选择一“最接近”的预先存储的辅助目标放大轮廓，实现最小乘方分析。还可使用其他识别模式处理，来选择适当的、预先存储的辅助目标放大轮廓，这是为检索与预先存储的辅助目标放大轮廓相关的驱动电流设置。

或者，控制单元 4 可以确定这些偏差值的平均值或中间值，并可验证此平均值或中间值是否在允许的容限内。例如，控制单元 4 可确定这些偏差值的平均值为零，它在有些情况中可以表示该放大性能已被满足。然而，如果它不在容限内，控制单元 4 则要适当增减元素增益，使实际输出电平轮廓与目标电平轮廓（即，本示例中的-10dBm）之间的差距更接近。

另外，以上给出的偏差值均对应于实际输出功率电平和目标输出功率电平之间的差值。但要注意的是，控制单元 4 可根据叠加原

理确定驱动电流，如上所述。

在建立元素增益轮廓时处理附加条件之示例

拉曼放大器的工作条件多种多样，这些工作条件可以影响对于这种工作环境如何识别最佳目标增益轮廓。有关工作条件之信息（如泵对泵的互作用，如图 16 中轮廓“f”和“g”之间的差别）在步骤 S2 中（见图 11）被提供给控制单元 4，供选择最佳目标轮廓。在设备安装或定期再校准期间，可以发现该信息的信息源。当在步骤 S2 中初始给定一目标增益轮廓“g”时，观察到一个实际增益轮廓如“f”，这种与预计性能不同的实际差别在步骤 S8 和 S10 中得到。控制单元 4 可观测到此差值归因于泵对泵的互作用之存在，这在步骤 S2 和 S4 中建立目标放大性能时，起初未加考虑。一旦进行这一观测，通过图 11 的过程可在步骤 S2 和 S4 中重新建立新的目标轮廓，其中考虑到了泵对泵的互作用存在，而不是简单的叠加。在此情况下，采取修改的过程建立目标放大性能，从目标放大性能到监测的放大性能，所观测到的变化应该变小，因此，要求更小的调整来保持预定增益轮廓。

在监测和分析过程步骤中，步骤 S10 和 S12（见图 11）也考虑了这个附加条件信息（在此情况下，是有泵对泵互作用）。该信息是有用的，因为这些附加条件也将反映在目标放大轮廓中，或反映在观察到的、一致的目标放大特性的偏差中。各组泵的输出电平可随需要而作改变，以保持目标放大性能（步骤 S14）。

例如，控制单元 4 可递增或递减第一组中各泵的输出功率，以便影响第一组的元素放大轮廓。在该递增或递减之后，如果观察到的总增益轮廓仍未在目标增益轮廓的允许容限内，于是，控制单元 4 可再次递增或递减各组泵的输出功率。

查询表（如表 1）可被用于实现这种递增法。即，控制单元为

在第一组中的一组四个泵可选择第一轮廓#1，并从表中读取各泵的驱动电流（即，各泵的驱动电流为 500mA）。如果实际放大轮廓不等于目标放大轮廓，控制单元可为第一组中的 4 个泵选择轮廓#2。此递增法可一直进行下去，直到实际放大轮廓是在该目标放大特性的允许容限内。

表 1 — 组 1（4 个泵）

泵 1	泵 2	泵 3	泵 4	轮廓号
500mA	500mA	500mA	500mA	#1
490mA	490mA	490mA	490mA	#2
480mA	480mA	480mA	480mA	#3

另外，查询表 1 也可修改，以存储对应于不同类型的放大轮廓的不同驱动电流。

例如，控制单元 4 用以下给出的查询表 2，可为特定泵组提供各种元素增益轮廓。表 2 中的值是作为示例选择的，表示可选择不同组值。

表 2 — 组 1（4 个泵）

泵 1	泵 2	泵 3	泵 4	轮廓号
560mA	311mA	122mA	244mA	#1
560mA	500mA	440mA	330mA	#2
480mA	480mA	480mA	480mA	#3

在该示例中，控制单元 4 可确定增益轮廓#2 适合用来抵销光纤损耗特性（即，另一“附加条件”）。于是，控制单元 4 可从表中读取需要的驱动电流，以实现所要求的第一组泵的放大轮廓。控制单元 4 根据各种因素从此表中选择最好的轮廓（即，使实际输出信号电平和目标输出信号电平之差最小的轮廓，并考虑到诸如光纤损耗的任何附加条件）。例如，因为第一和第二组均有低于目标增益轮

廓 5dB 之特性, 控制单元 4 可选择提供实际放大性能的轮廓#3, 该实际放大性能是由具有在目标增益轮廓以下 5dB 的轮廓的第一及第二组导致的。控制单元 4 也可确定发生在对应于第一组中的泵的波长中的增益衰减。然后, 控制单元 4 可由表 2 选择轮廓#1 (例如, 它原先已被确定为最佳轮廓, 以抵销 5dB 或更小的损耗。) 一旦选择了轮廓#1, 与轮廓#1 相关的驱动电流值便可从存储器中检索出来, 并被施加到相应的泵浦激光器。

通信条件变化时使控制单元替换新的目标放大性能之实例

使用控制单元 4 和泵激装置的一特定配置可改变目标放大性能。在随后的例子中, 目标放大特性的变化, 可由下述情况得到解释: 即使系统参数发生了变化, 仍可试图对输入的 WDM 信号提供同样的系统级性能。图 17-35 给出了一些不同的例子, 说明控制单元 4 控制泵浦激光器产生目标放大增益轮廓的情况, 该目标放大增益轮廓能对输入的 WDM 信号产生同样的整体系统性能, 即使在通信条件已发生变化。

等距分离泵浦激光器之子集的选择

图 17 是根据本发明的另一泵激装置 71 的示意图, 该装置 71 包括用于与马赫-策尔德干扰仪 90 耦合的 8 个泵浦激光器 81-88 的“频隙 (slot)”。用于泵 81-88 的每个频隙均采用等波长分离 (即间隔为 7.5nm) 并产生相同的输出值。但要注意, 在本例中, 泵浦激光器 85 和 87 未被使用, 这只要不在泵激装置 71 中安装这两个泵浦激光器即可实现。或者, 控制单元 4 不向泵 85 和 87 施加驱动电流即可。这个可选的实施例能产生一个“普通泵激装置”, 将其设置在某个特定操作环境之后, 该装置可被配置/重新配置。用这种方法, 每个放大器不需要定制以适应通信网中的特定位置, 而是通过远程

设备控制器（4000）给拉曼放大器下载工作参数，可以对该普通放大器进行远程配置。在此情况下，控制单元 4 将不用至少一部分泵浦激光器来建立目标放大性能。（虽然图 17 中并未示出，控制单元 4 通过控制线对泵浦激光器 81-88 实施控制，以便切换这些泵浦激光器接入或脱离泵激装置 71，或者，另一种方法通过控制驱动电路）。

本例中，在最短波长端，第一组中的泵的总功率（即由泵 81, 82, 83, 84 产生之总功率）大于在长波长端的第二组中的泵产生的总功率（即由泵 86 和 88 产生之总功率）。这就提供一平坦放大轮廓，因为控制单元 4 调整第一、二组的泵浦激光器的电平，以形成导致被组合时的平坦轮廓的元素轮廓。在图 17 中，每个相应组中的泵产生相同的输出功率，但由于工作在较长波长端的泵产生的总输出功率被设定为足够高以保持该平坦增益轮廓，即使只使用这些泵的一个子集（即泵 85 和 87）。

建立元素轮廓之后，控制单元 4 可监测实际 WDM 信号并控制各工作泵，以保持目标放大增益轮廓（如先前所述，参见图 11）。另一种方式是，控制单元 4 可监测和控制相对两组泵的实际放大轮廓。

改变放大带宽

通过改变由于泵浦激光器组中在最短波长和最长波长上的泵浦激光器的作用，放大带宽是可以被扩展或收缩。图 18 给出又一实例描述了这种实现。应该注意的是，图 18 给出的是泵浦激光器的中心频率而不是中心波长。如图所示，第一泵 91 的中心频率为 211THz（1420.8nm 波长），第五泵 95 的中心频率为 207THz（1448.3nm 波长）。泵 91-95 相互之间的间隔是 1THz，通过 WDM 组合器 82，泵 91-95 的光输出被组合，形成为一较短波长组。然后，通过耦合器 99，该组合光与长波长组输出的光组合，该长波长组中包括工作在频率为 205THz（1462.4nm 波长）的泵 96，它与第 5 泵 95 的间隔为 2THz。

图 19 给出泵 91-96（见图 18）的拉曼放大轮廓。曲线“A”表

示泵 91-96 产生的总放大轮廓，曲线“B”表示短波长的一组的前 5 个泵 91-95 产生的放大轮廓之和，曲线“C”表示第 6 泵 96 产生的放大轮廓。图 19 中用细线来对应泵 91-95 各自的放大轮廓。通过多路复用泵 91-95（间隔为 1THZ）的光输出，形成一条向右下方延伸的平滑曲线（即曲线“B”）。另外，通过将曲线“B”加到第 6 泵 96 输出的光产生的向右上方延伸（见图 19）的放大轮廓（即曲线“C”），总的拉曼放大轮廓基本上是平坦的，如曲线“A”所示。再者，如图 19 的细线所示，间隔 1THZ 时，第一放大曲线的凸部与另一放大曲线凹部相互抵销。

图 20 是图 19 所示的总的放大曲线“A”之放大视图。由图可知，10dB 的放大带宽从大约 196THZ（1526.6nm 波长）扩展到大约 193THZ（1553.3nm 的波长），且实现的增益偏差约为 0.1dB。

图 21 给出当图 18 中泵 96 的中心频率与第 5 泵 95 的间隔为 2.5THZ（而不是如图 18 所示，与第 5 泵 95 间隔 2.0THZ）时的放大轮廓。与图 19 相同，曲线“A”表示总的放大轮廓，曲线“B”表示前 5 个泵 91-95 产生的放大轮廓之和，曲线“C”表示第 6 泵 96 的放大轮廓。此外，其中细线分别表示头 5 个泵 91-95 的各放大轮廓。

图 22 系图 21 中总放大曲线“A”的放大视图。如图所示，其峰值放大是在 10dB，放大带宽从大约 196THZ（1529.6nm 波长）扩展到大约 192THZ（1561.4nm 的波长）时，所得到的放大偏差约为 0.1dB。此外，其放大带宽要大于图 20 给出的带宽，但在带宽中间部分出现一大波纹。该波纹的起因是第 5 泵与第 6 泵 96 之间的间隔更大（即 2.5THZ，而不是 2.0THZ）。因此，由图 22 可见，获得的放大带宽越大，在该带宽的中间部分存在的波纹也越大。对该带宽扩展可以进行控制，该控制是通过引入并起动备份泵浦激光器，其中所设置的间隔低于产生用以获得轮廓“B”的最短波长的泵浦激光器中心频率、并高于用以获得轮廓“C”（见图 19）的最长波长的中心

频率。然而，安装备份泵要比不包含备份泵的费用更昂贵，由远程设备控制器 4000（见图 6）来快速便捷地对拉曼放大器进行重新配置以调整放大带宽。

最佳 1THZ 间隔之实例

图 23 给出根据本发明的再一拉曼放大器实例。在该例中，第一泵 101 的频率为 211THZ（1420.8nm 的波长），第二至第八泵 102-108 的频率为 210THZ（1427.6nm 的波长）至 204THZ（1469.6nm 的波长）。泵 101-108 的频隙（slot）相互间隔 1THZ。但要再次注意，其中泵 106 和 107 未使用（虽然它们可保留拉曼放大器中，以备启动放大带宽的动态再配置，如以上所述）。另外，相邻工作泵之间的波长间隔是在包括 6nm 至 35nm 的范围之内。再者，工作在较短波长（相对于该最短和最长中心波长之间的中间波长）端的泵的数量要大于工作在较长波长端的泵的数量。即第一泵 101 和第八泵 108 之间的中间频率大约为 207.5THZ。因此，泵 101-104（即 4 个泵）工作在较短波长端，而泵 105 和 108（即 2 个泵浦）工作在较长波长端。

图 24 给出使用泵 101-105 以及 108 时（见图 23）所产生的拉曼放大轮廓。其中，曲线“A”表示总的放大轮廓，曲线“B”表示头 5 个泵 101-105 导致的放大轮廓之和，曲线“C”表示第 8 泵 108 导致的放大轮廓。另外，其中的细线分别表示头 5 个泵 101-105 各自的放大轮廓。

图 25 给出图 24 中总放大曲线“A”的放大视图。由图可见，其峰值放大是在 10dB 处，放大带宽从大约 196THZ（1529.6nm 波长）扩展到大约 191THZ（1569.6nm 波长），且其放大偏差约为 0.1dB。注意，该放大带宽较图 20 和 22 中所给出的放大带宽更大。其原因在于第 8 泵 108 相对于相邻工作泵 105 的间隔更大（即 3THZ）。

最佳 1THZ 间隔的又一实例

图 26 给出根据本发明的又一拉曼放大器实例。第一泵 111 的频率为 211THZ (1420.8nm 波长), 第 2 至第 8 泵 112 至 118 的频率为 210THZ (1427.6nm 波长) 至 204THZ (1469.6nm 波长)。此外, 各泵的频隙 (slot) 间隔为 1THZ。在此示例中, 第 5 和第 6 泵 (115 和 116) 未使用。另外, 相邻工作泵之间的间隔为 6nm 至 35nm 范围之内, 较短波长端上的泵的数量大于较长波长端上的泵的数量。

图 27 给出图 26 中所示的泵 111-114 以及 117-118 的拉曼放大轮廓。其中, 曲线“A”表示总放大轮廓, 曲线“B”表示头 4 个泵 111-114 造成的放大轮廓之和, 曲线“C”表示第 7 和第 8 泵 117 和 118 造成的放大轮廓之和。其中的细线表示各工作泵 111-114 和 117-118 造成的放大轮廓。

图 28 给出图 27 中总放大曲线“A”的放大视图。由图可见, 其峰值放大在 10dB 处, 放大带宽从大约 196THZ (1529.6nm 波长) 扩展到大约 191THZ (1569.6nm 波长), 且其放大偏差约为 0.1dB, 再次注意, 在此示例中, 图 27 中的放大曲线“C”是由泵 117 和 118 各自的放大轮廓形成的, 然而, 图 24 中的放大曲线“C”是由单个泵 108 (见图 23) 形成的。此外, 泵 117 和 118 产生的最大增益大约为 5dB (见图 27), 而单个泵 108 产生的最大增益约为 8dB。因此, 在图 27 中, 与驱动单个泵相比, 以更小的输出功率就可以驱动两台泵 117 和 118。

最佳 1THZ 间隔再一示例

图 29 给出根据本发明的另一拉曼放大示例的示意图。由本例可知, 泵激装置包括一组 13 个泵 121-133。各泵间隔为 1THZ, 且第一泵 121 的中心频率为 211THZ (1420.8nm 波长), 第 13 泵 133 的中心频率为 199THZ (1506.5nm 波长)。第 11 和第 12 泵 131 和 132 未使用 (即, 或这些泵未安装, 或控制单元 4 未对泵 131 和 132 施加驱动电流)。此外, 相邻工作泵之间的间隔在 6 至 35nm 范围之内,

且较短波长端上的泵的数量比在较长波长端上的泵的数量大。

在图 30 中, 曲线“A”表示总的放大轮廓, 曲线“B”表示第 1 至第 10 泵造成的放大轮廓之和, 曲线“C”表示第 13 泵的放大轮廓。另外, 用细线分别表示第 1 至第 10 泵各自的放大轮廓。图 31 给出图 30 中总放大曲线“A”的放大视图。由图可知, 其峰值放大是在 10dB, 放大带宽从大约 196THZ (1529.6nm 波长) 扩展到大约 186THZ (1611.8nm 波长), 增益偏差约为 0.1dB。因此, 通过向较长波长增加新泵, 该增益轮廓也可被扩展。当根据图 24 和 27 的放大轮廓改变目标性能时, 应根据图 23 至 26 改变泵配置。当“备份”泵浦激光器已设在拉曼放大器中时, 通过控制单元 4 切换适当的备份泵接入或脱离该泵激电路, 可以实现带宽的改变, 如图 17、18、23、26 和 29 的实施例所示。根据远程设备控制器 4000 通过网络 3000 (例如见图 4) 发出的指令信息, 控制单元 4 实现带宽的改变。

图 32 给出一个示例的放大轮廓, 在该示例中, 未使用泵浦 130 和 131 (而不是 131 和 130), 如由控制单元 4 决定。另外, 相邻工作泵之间的间隔是在 6 至 35nm 范围之内, 在较短波长端上的泵的数量大于较长波长端上泵的数量。在图 32 中, 曲线“A”表示总的放大轮廓, 曲线“B”表示第 1 至第 9 泵造成的放大轮廓之和、曲线“C”表示第 12 和 13 泵的放大轮廓之和。其中用细线表示各工作泵的放大轮廓。

图 33 给出图 32 中的总放大曲线“A”的放大视图。由图可知, 其峰值放大是在 10dB, 其放大带宽从大约 196THZ (1529.6nm 波长) 扩展到大约 186THZ (1611.8nm) 波长, 且放大偏差约为 0.1dB。而且, 如由图 30 和图 32 中的曲线“C”之比较明显可见, 用较低输出功率值便可驱动两个泵 (如图 32), 而不是要用较高的输出功率来驱动单个泵 (见图 30)。

用改变的带宽改变目标轮廓的过程示例

图 34 是根据本发明的第二方面的控制单元 4 的工作过程流程图。其中，步骤 S6、S8、S10、S12 和 S14 与图 11 中描述的相同，因此省略这些步骤的详细说明。图 34 和图 11 中所示的工作过程之间的差别在于，控制单元 4 将现有放大轮廓（步骤 S30）改变成一个新的具有不同的放大带宽的目标放大性能。例如，需要增加放大带宽来支持附加的信道（如网络增容）。在此情况下，网络工程师可命令控制单元 4（例如，通过键盘和鼠标，或通过远程设备控制器 4000 在远距离命令，见图 4）增加（或减少）放大带宽。

然后，控制单元 4 确定参数，生成新的目标轮廓（步骤 S32）。例如，如上所述的图 20、22、25、28、31 及 33 所示的总放大轮廓，通过增大具有最大中心波长的泵与具有下一个最大中心波长的泵之间的波长间隔，可以增加放大带宽。即，由图 18 所示的配置（其中泵 96 与 95 之间间隔 2 THZ）产生图 20 中的放大带宽，图 21 中的放大带宽是通过在泵 96 和 95 之间间隔 2.5THZ 而生成的，图 25 中的放大带宽则是在泵 108（见图 23）和 105 之间间隔 3THZ 而生成的。因此，通过对备份泵的开关控制，控制单元 4 可动态改变各泵间的波长间隔，从而改变现有的放大轮廓。例如，假定在一泵激装置中包括 7 个泵，各泵间的波长间隔为 1THZ。那么，根据本发明的第二方面，控制单元 4 可以只对第一至第五泵以及第 7 泵施加驱动电流。这将导致与如图 18 中所示配置相同的配置。

在又一示例中，控制单元 4 可以确定某个泵未按要求输出功率工作，于是，对某些泵进行开关控制来补偿该故障泵浦。例如，参照图 23，假定第 8 泵 108 未完全产生 8dB 的增益，而是产生 5dB 的增益。在此情况下，控制单元 4 可给第 7 泵 107（原来已被关闭）施加驱动电流，因此该泵 107 产生 5dB 增益。注意，本例类似于图 26 所示的示例，其中，两相邻泵的工作可各产生 5dB 的增益，而不是一个泵产生 8dB 增益。这样，可关闭第 5 泵 105，以便象图 26 中

所示的泵激装置那样工作。

因此，控制单元 4 可改变现有拉曼放大轮廓，以获得不同的放带宽。这种改变可由网络工程师（在本地或在远程）通过外部指令来启动，或是由控制单元 4 本身来请求这种改变。即，如上所述，控制单元 4 可确定某个泵未产生所要求的增益（即，通过控制单元 4 的监测性能），然后改变现有的放大轮廓。

参见图 35，它是根据本发明的又一方面的工作过程示意图。更具体地讲，图 35 示出由远程设备控制器 4000 远程控制的三个级联拉曼放大器 30、32 和 34。在此例中，远程设备控制器 4000 可以改变第一拉曼放大器中的总放大轮廓，影响下一个拉曼放大器的变化。例如，远程设备控制器 4000 可以确定拉曼放大器 32 中的一个（或多个）泵未工作。于是，远程设备控制器 4000 可以在拉曼放大器 30 中增加一相应泵输出功率，来补偿由拉曼放大器 32 中的未工作泵造成的影响。注意，远程设备控制器 4000 也可以在拉曼放大器 34 中增加一相应的泵输出功率，来补偿拉曼放大器 32 中的未工作泵造成的影响。这样，远程设备控制器 4000 能控制多个级联拉曼放大器的全部操作，从而提高该网络整体运行水平。

另外，远程设备控制器 4000 还可以通过因特网（如上所述）与各个拉曼放大器连接。这样，网络工程师可通过远程设备控制器 4000 来对该网络实施有效监控。远程设备控制器 4000 还可以包括一网址，通过因特网浏览器，如 MICROSOFT EXPLORER，也可以从其它地方访问该网址。在此情况下，可对各拉曼放大器 30、32 和 34 的工作状态进行连续监测。各拉曼放大器 30、32 和 34 可包括一机内报告装置，它向远程设备控制器 4000 提供周期状态信息。另一种方法是，该远程设备控制器 4000 能给各拉曼放大器 30、32 和 34 下载 Java 或 ActiveX 文件，这样各拉曼放大器便可工作以搜集状态数据，并自动向远程设备控制器 4000 报告。采用这一方式，网络操作

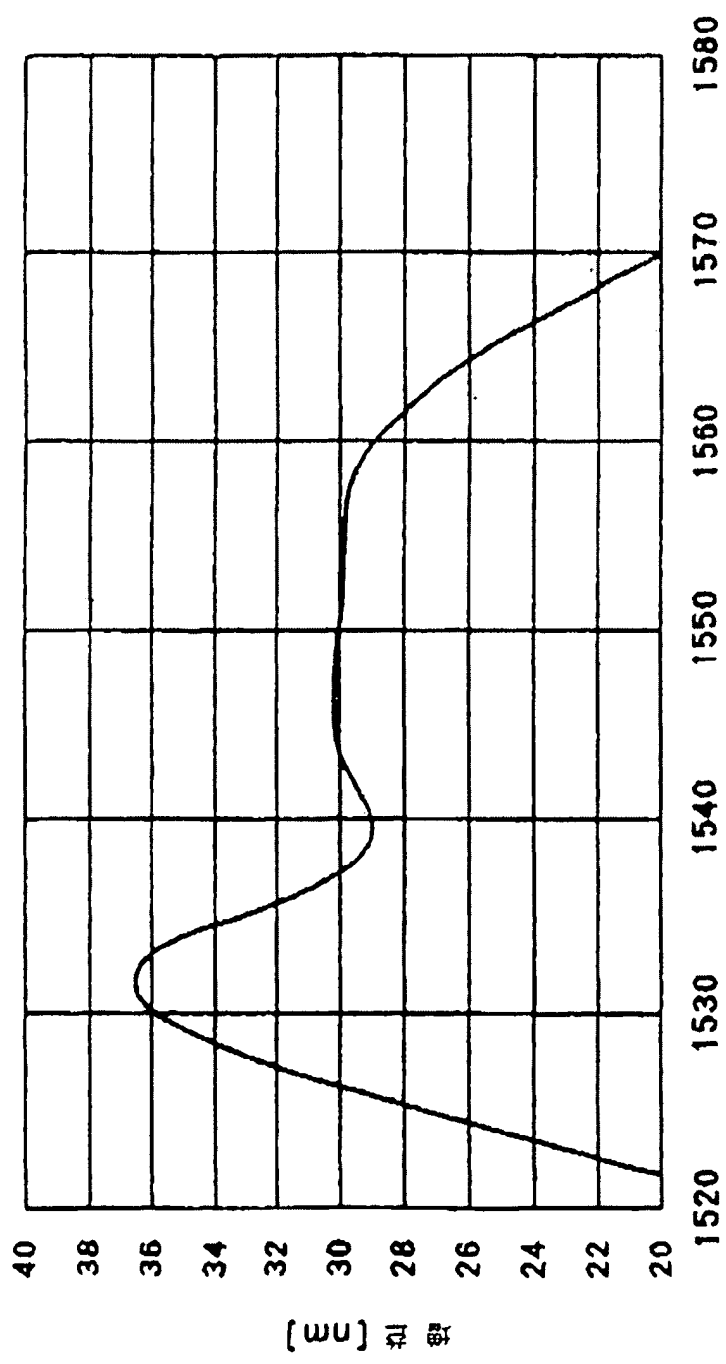
人员可观测各拉曼放大器 30、32 和 34 中所用的不同目标放大轮廓，并适时使用校正手段，在系统级帮助平衡操作，在系统级使性能最佳化。

远程设备控制器 4000 和各拉曼放大器都采用通信接口和处理软件，这样便能上传和下载有效内容供工作在任何放大器或控制器 4000 的网络操作人员以及技术人员检查，而且还可以通过万维网（WWW）进行远程检查。关于万维网的操作，包括通信工具如网络浏览器及网页，见 Gralla, P. 的“因特网工作原理” Que.（1999 年。）中 122-166 页，这里结合其全部内容作为参考。同样，有关网络源之间有效内容的传递，参见 Gralla 一文的 170-120 页，这里结合其全部内容作为参考。

在计算机技术领域的技术人员应该清楚的是，采用常规的通用数字计算机或微处理器并根据本说明书的思想进行编程，可以方便地实现本发明。同样，在软件技术领域的技术人员应该清楚的是，由熟练的程序员根据本发明公开的思想可以容易地编制适当的软件编码。本领域技术人员应该清楚的是，通过制备专用集成电路，或互联常规组件电路的适当网络，也可以实现本发明。

本发明包括一计算机程序产品，该产品是包括可用于计算机编程以实现本发明之过程的指令的存储介质。该存储介质可包括、但不限于包括软盘、光盘、CD-ROM、以及磁光盘的这一类盘、ROM、RAM、EPROM、EEPROM、磁卡或光卡、或任何形式的纯软件发明（如文字处理软件，财会软件，与因特网相关的软件等）并适于存储电子指令的介质。

显然，根据上述的思想，本发明还可有另外的多种修改和变化。因此，应该理解的是，在所述权利要求的范围内，本发明的实际实现方案可以不同于这里所做的具体描述。



波长 [nm]

图 1

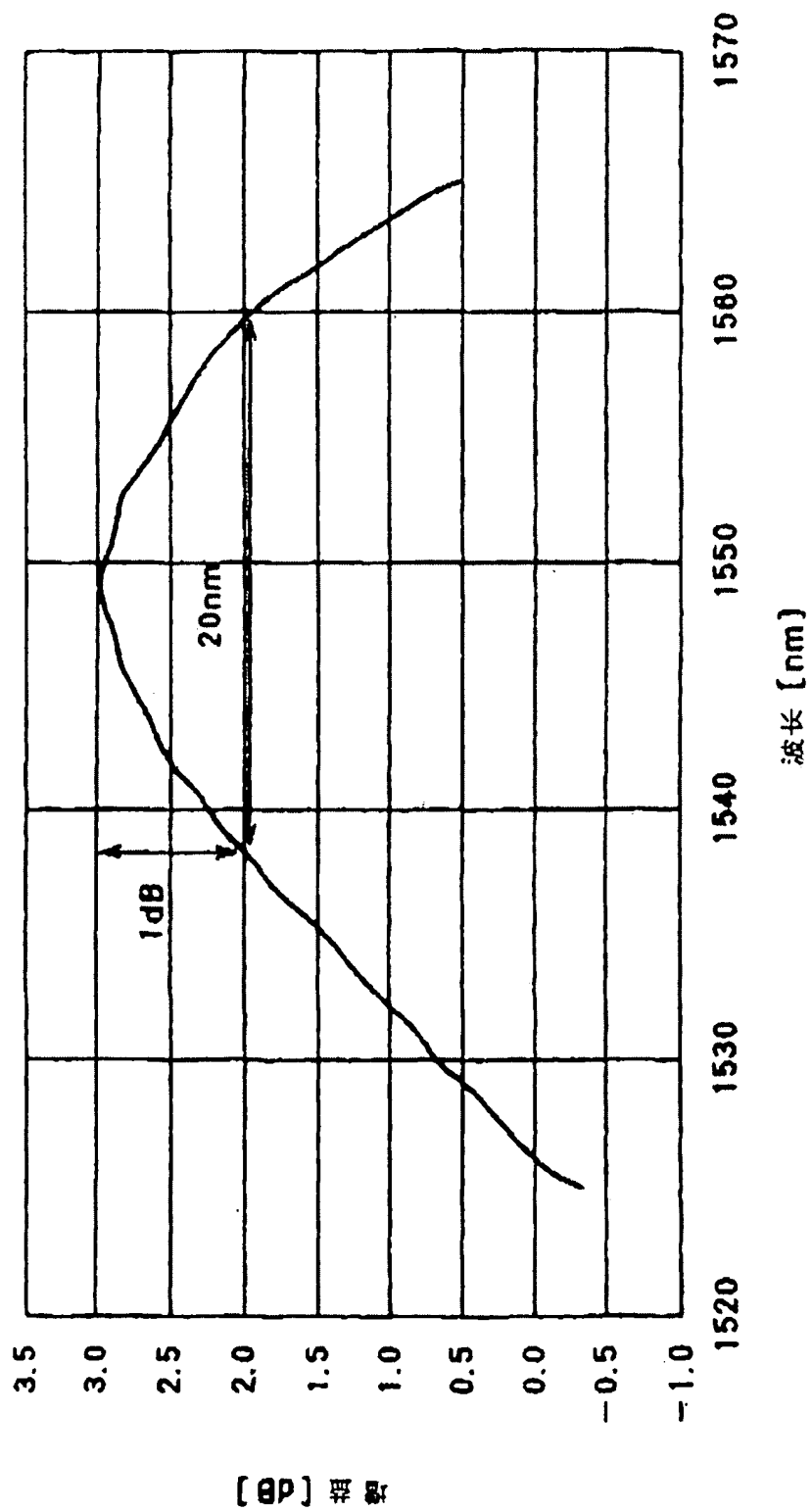
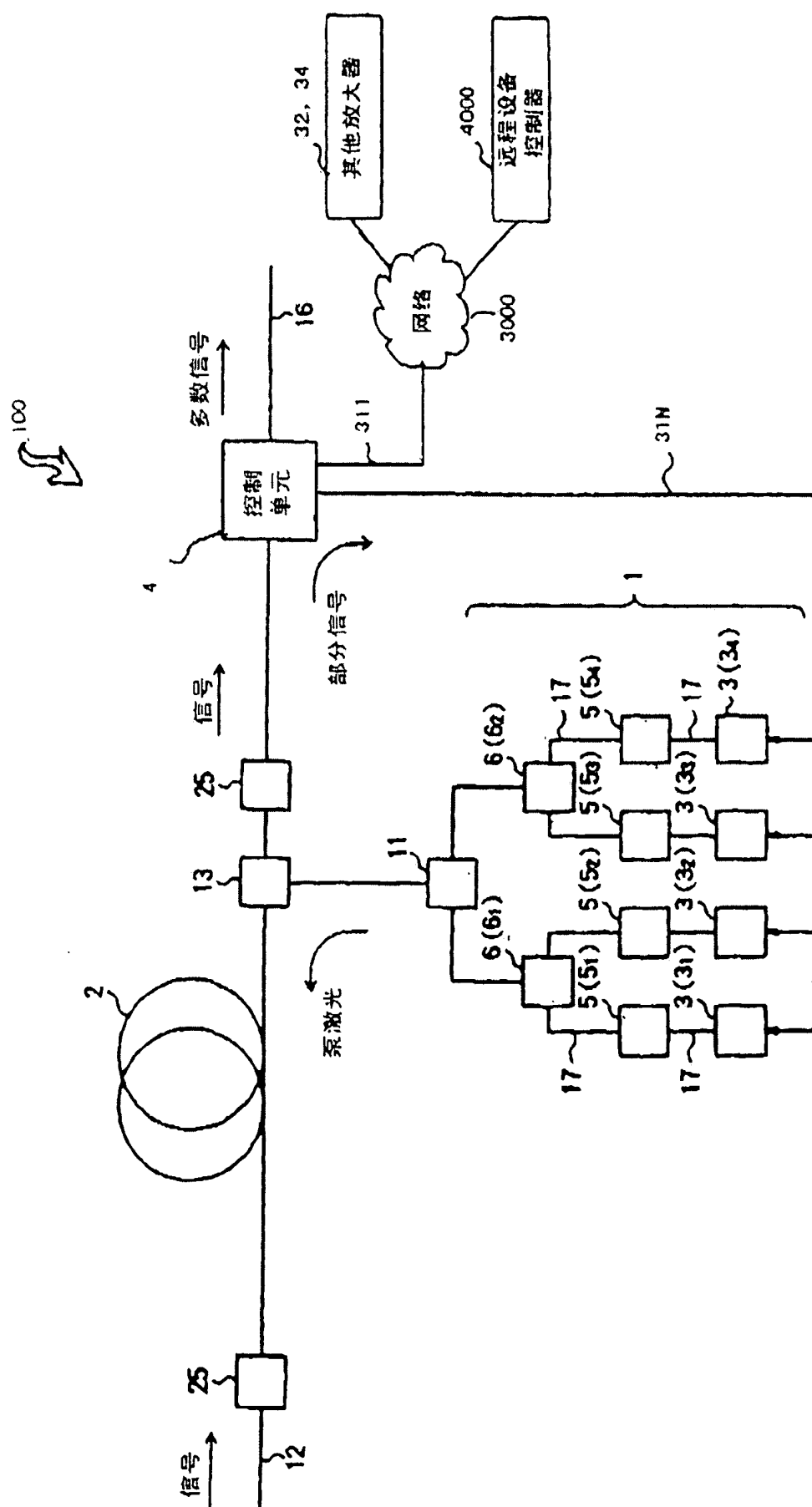


图2



3

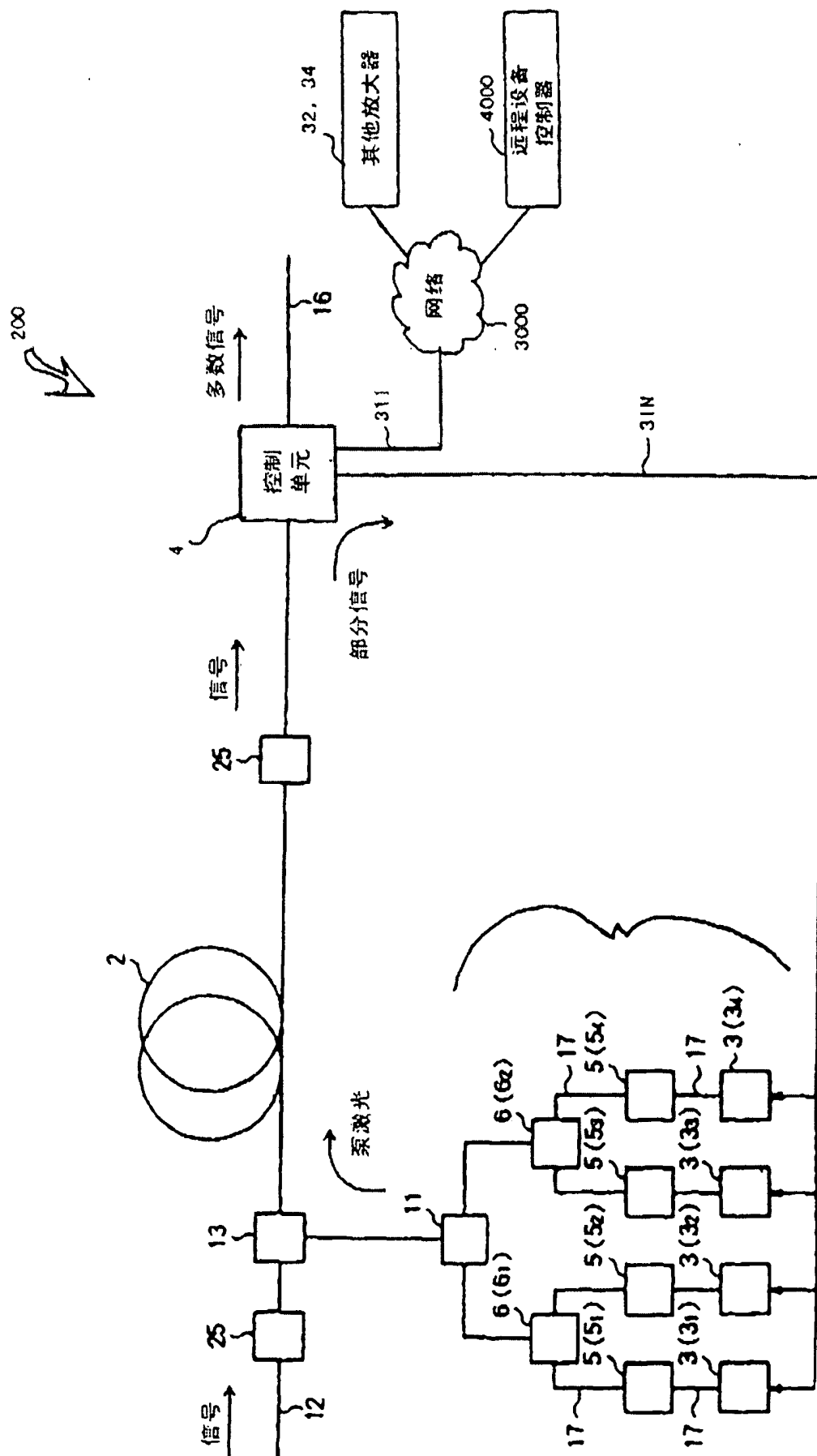



图4

200

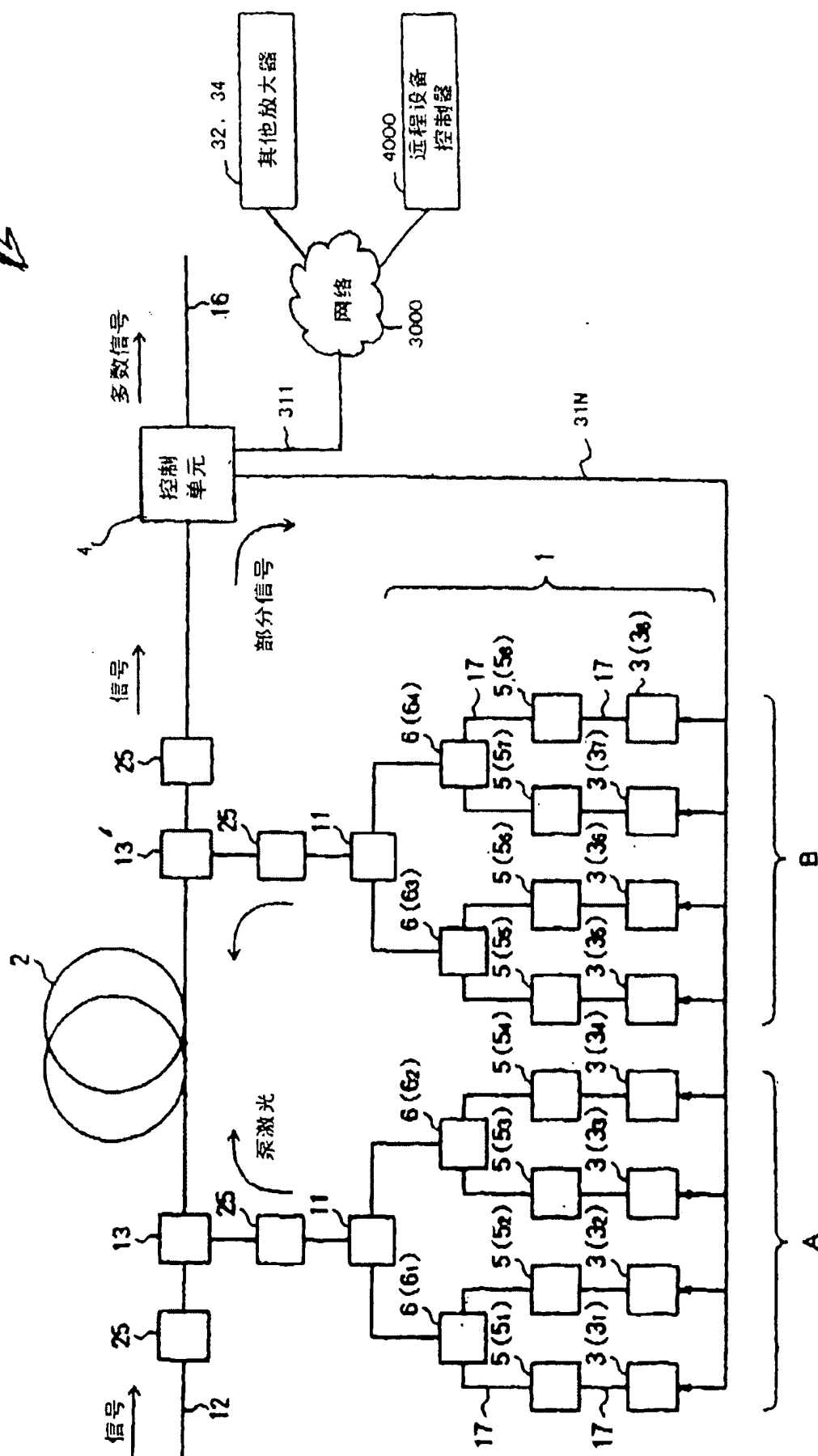


图5

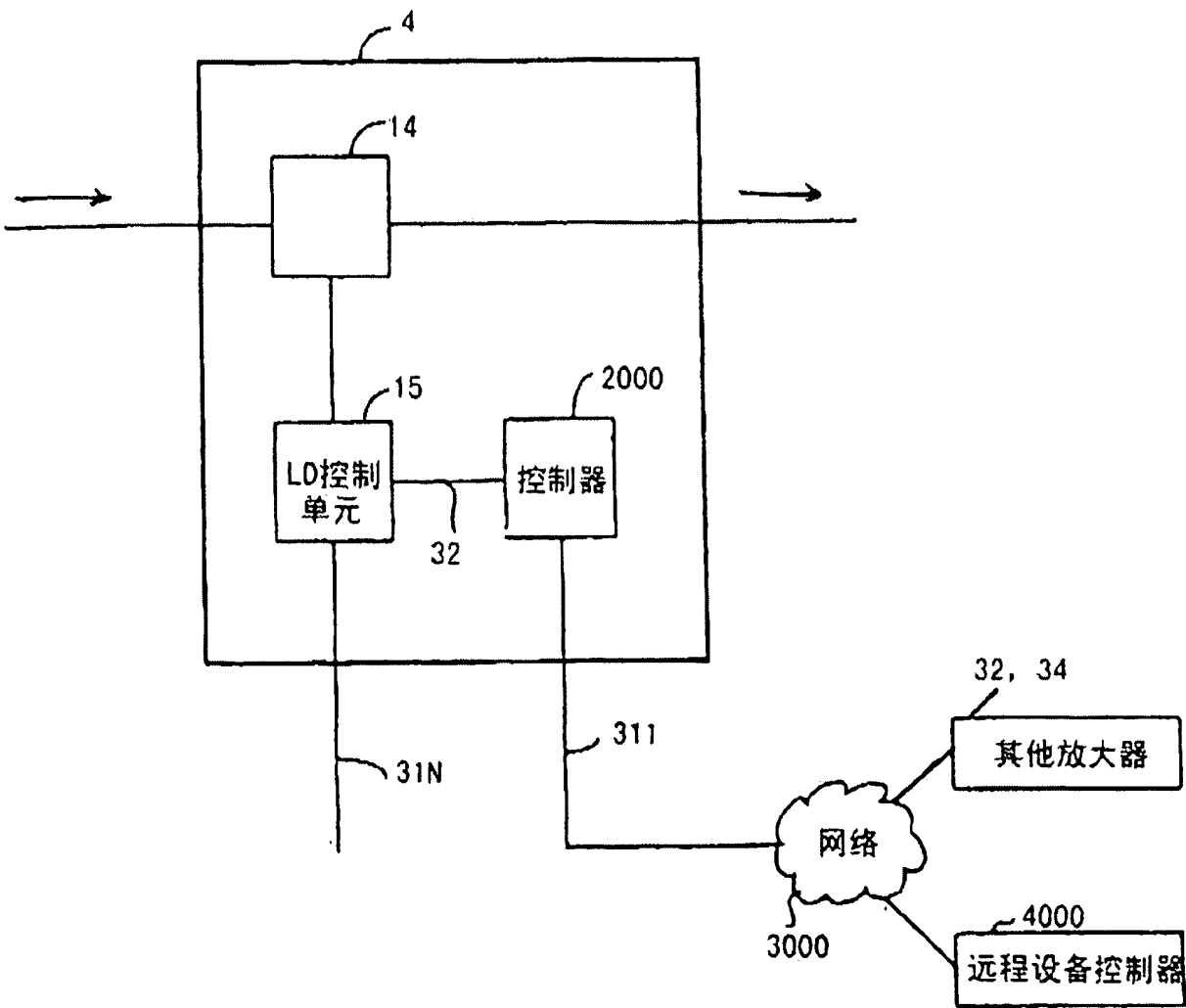


图6

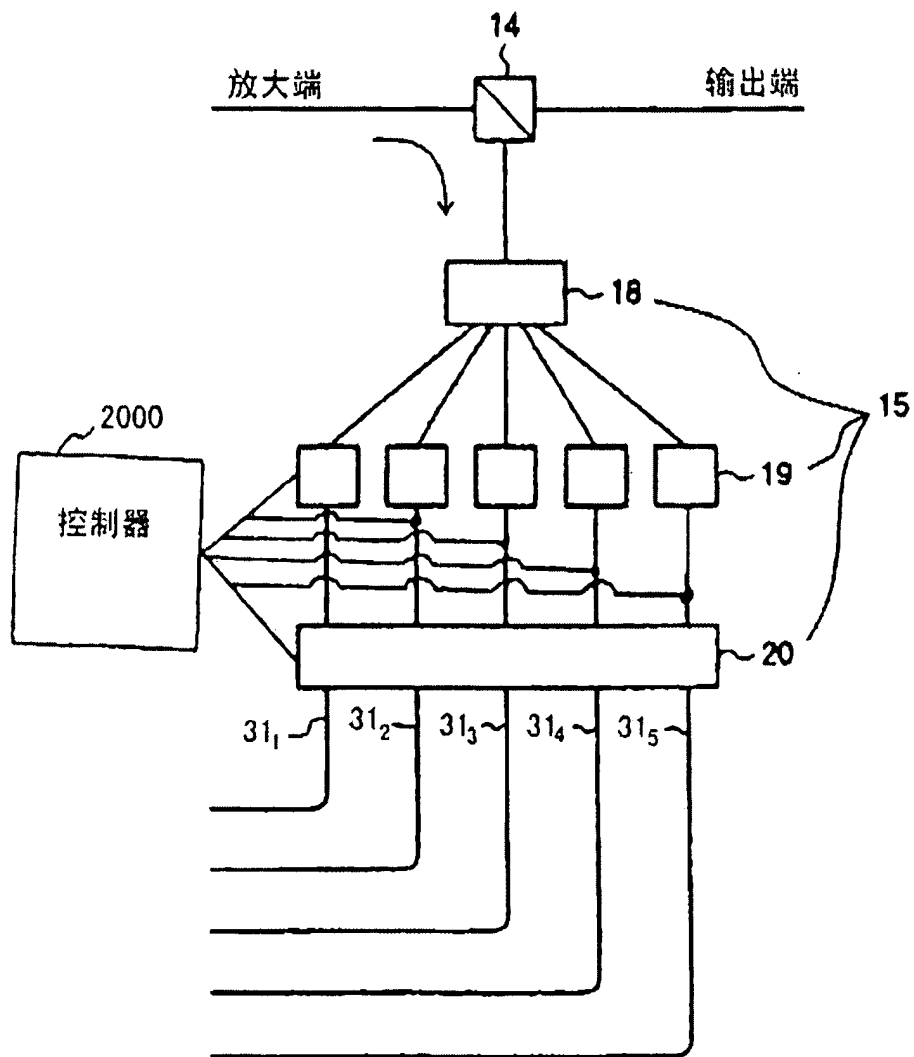


图7

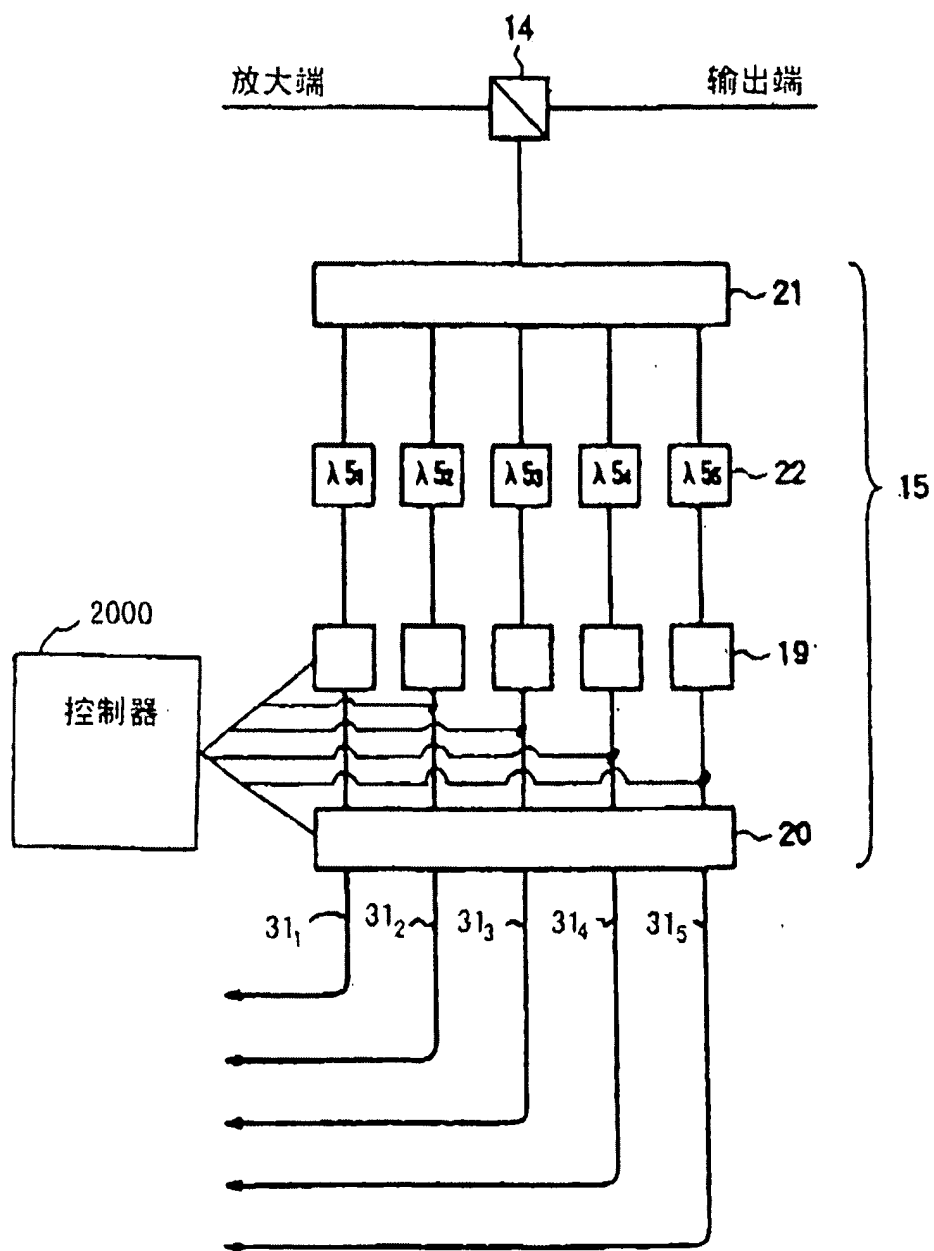


图8

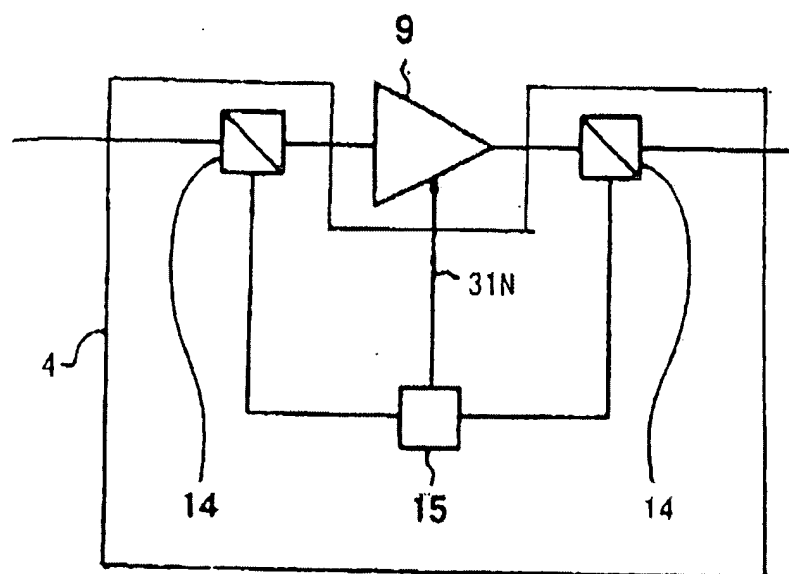


图9

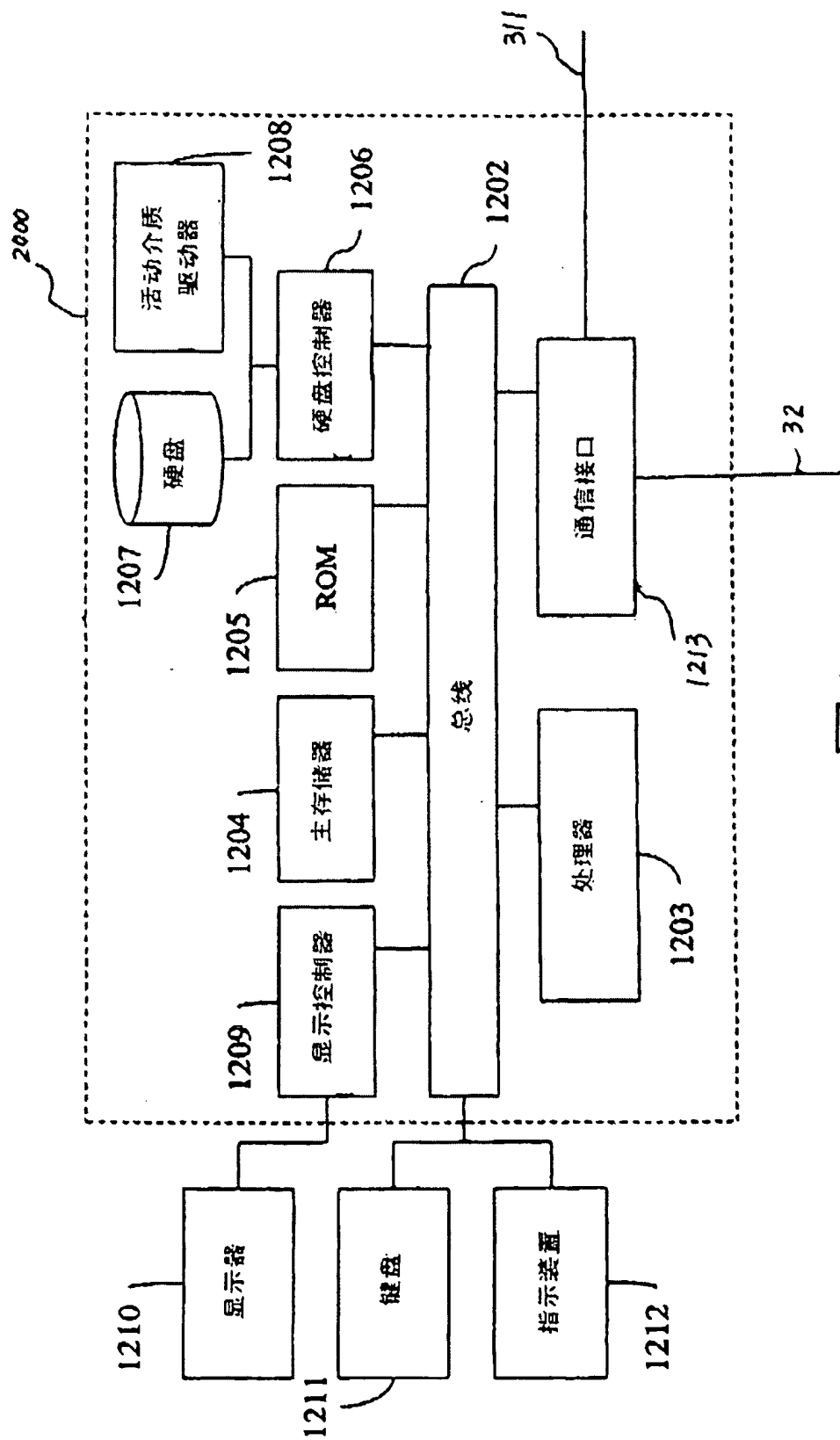


图10

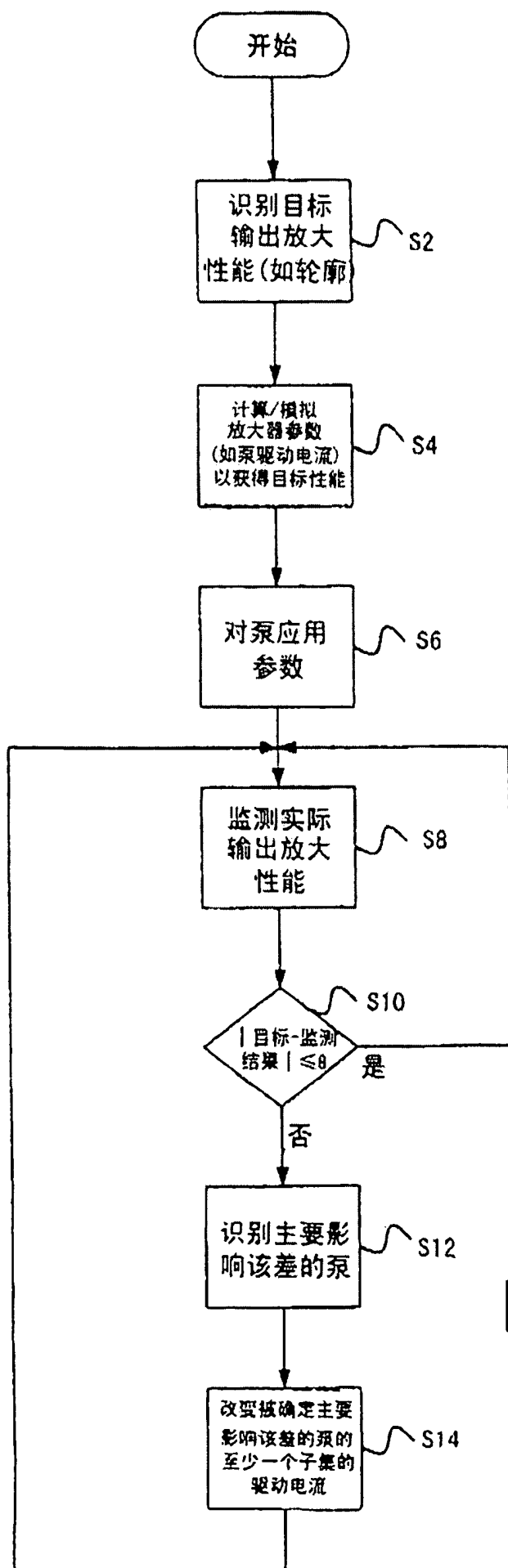


图 11

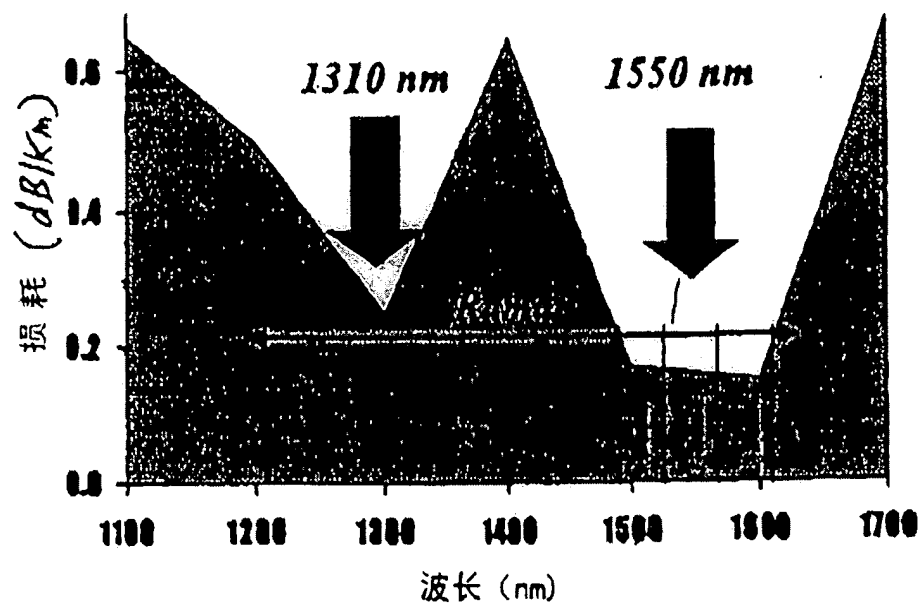


图12

	波长 (nm)						
	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
驱动电流 (mA)	560	250	120	560	100	90	560

图13

叠加原理

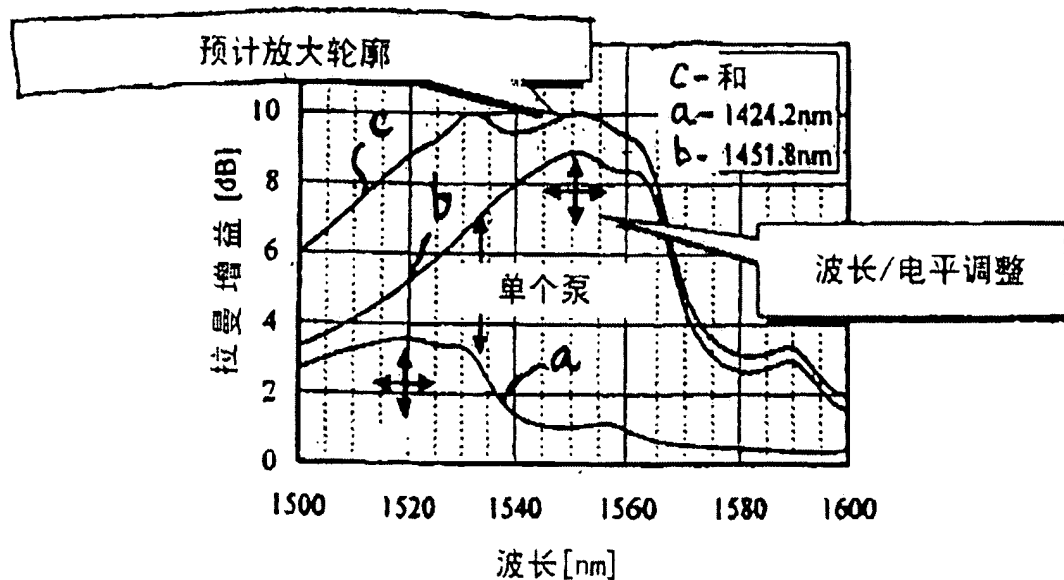


图14

基于叠加原理的泵激波长设计

设计参数:

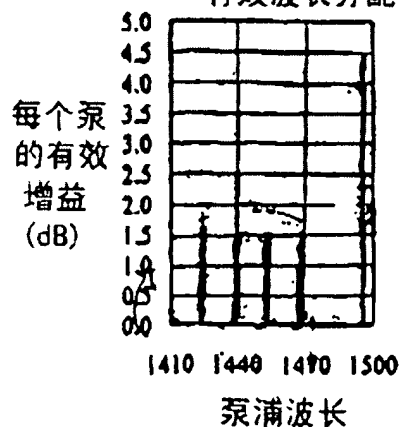
波长分配
有效波长分配

图15A

技术规范:

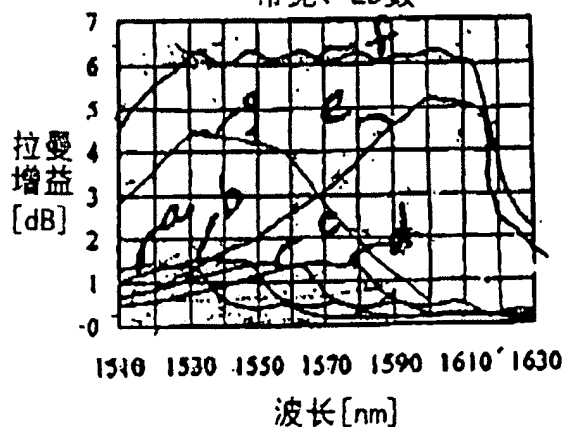
光纤类型、增益与平坦性
带宽、LD数

图15B

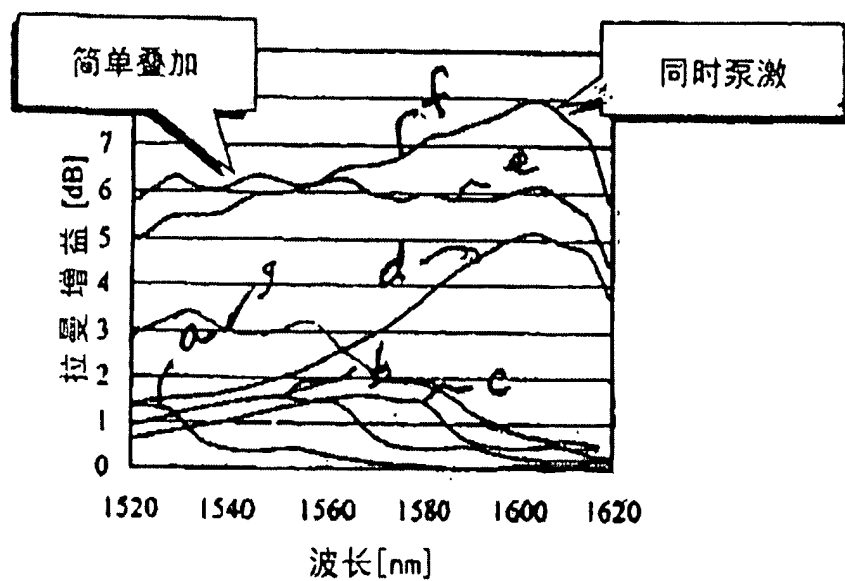


图 16

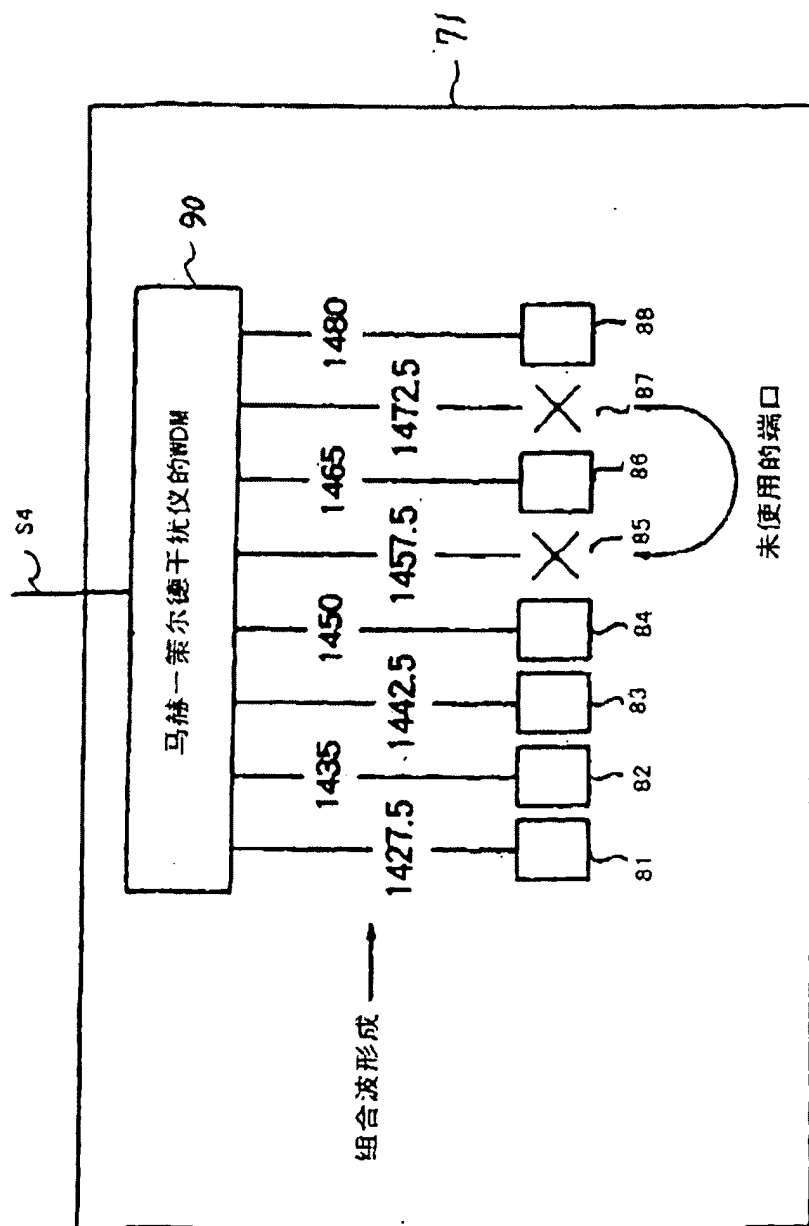


图17

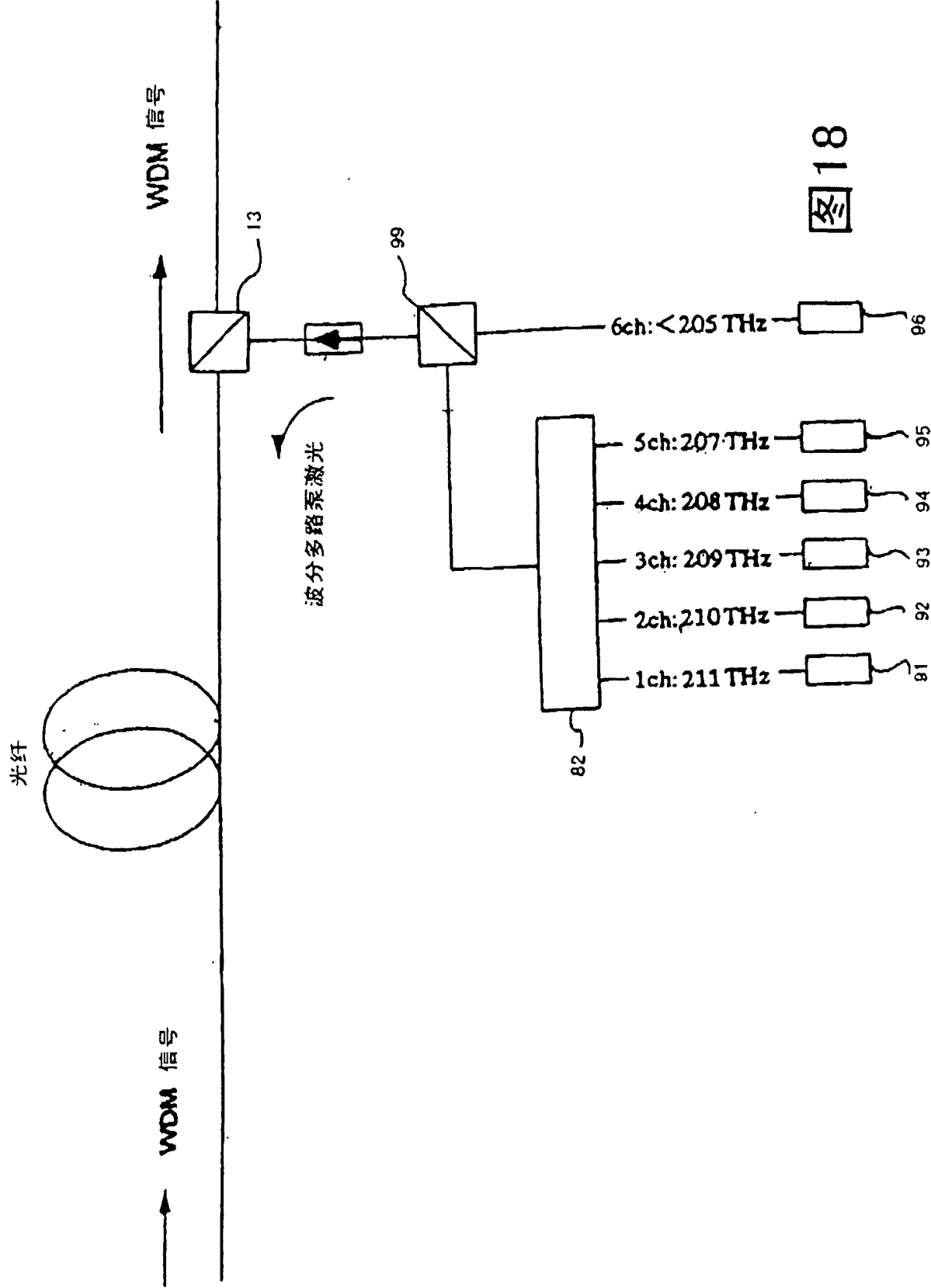


图 18

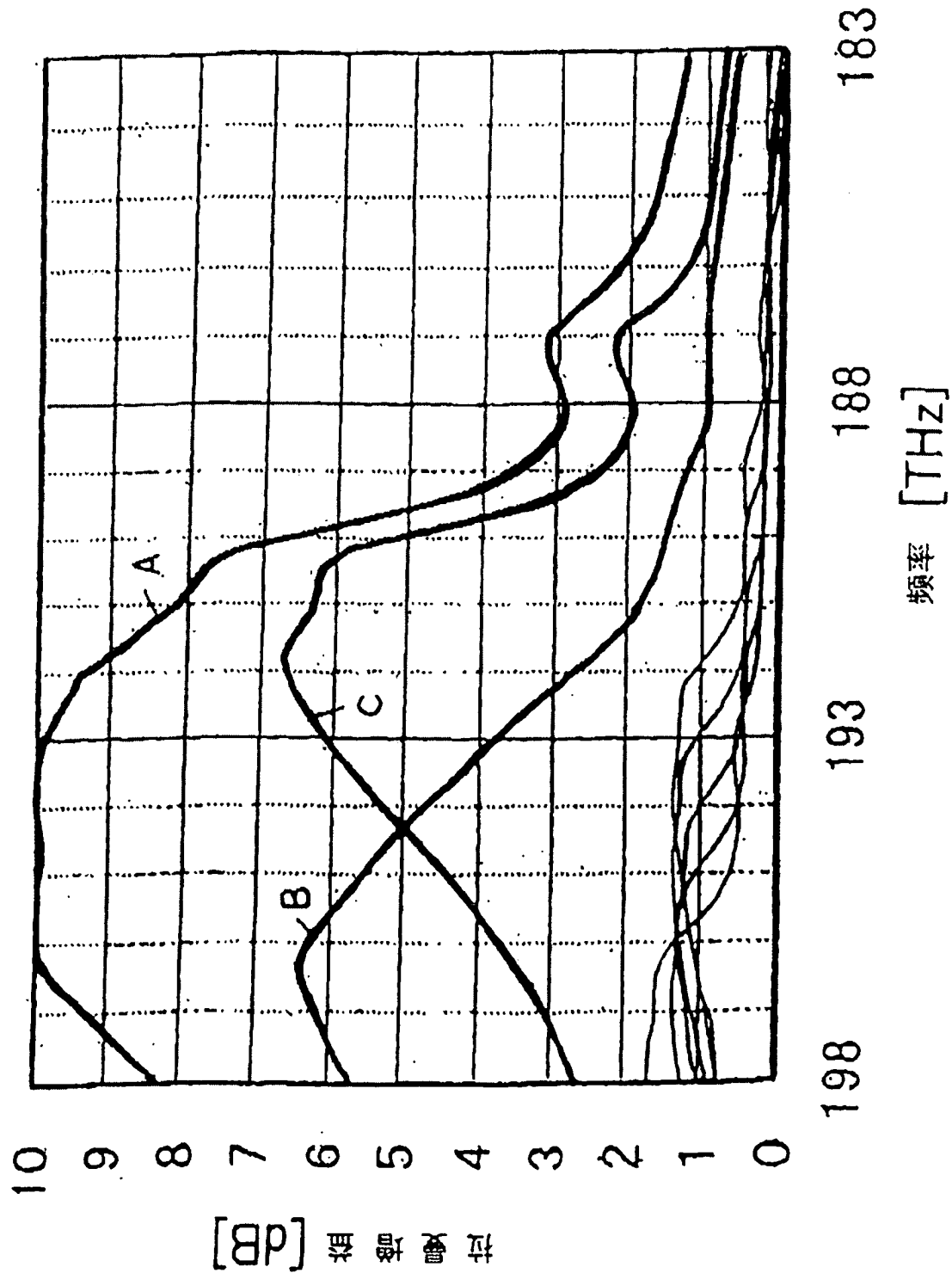


图19

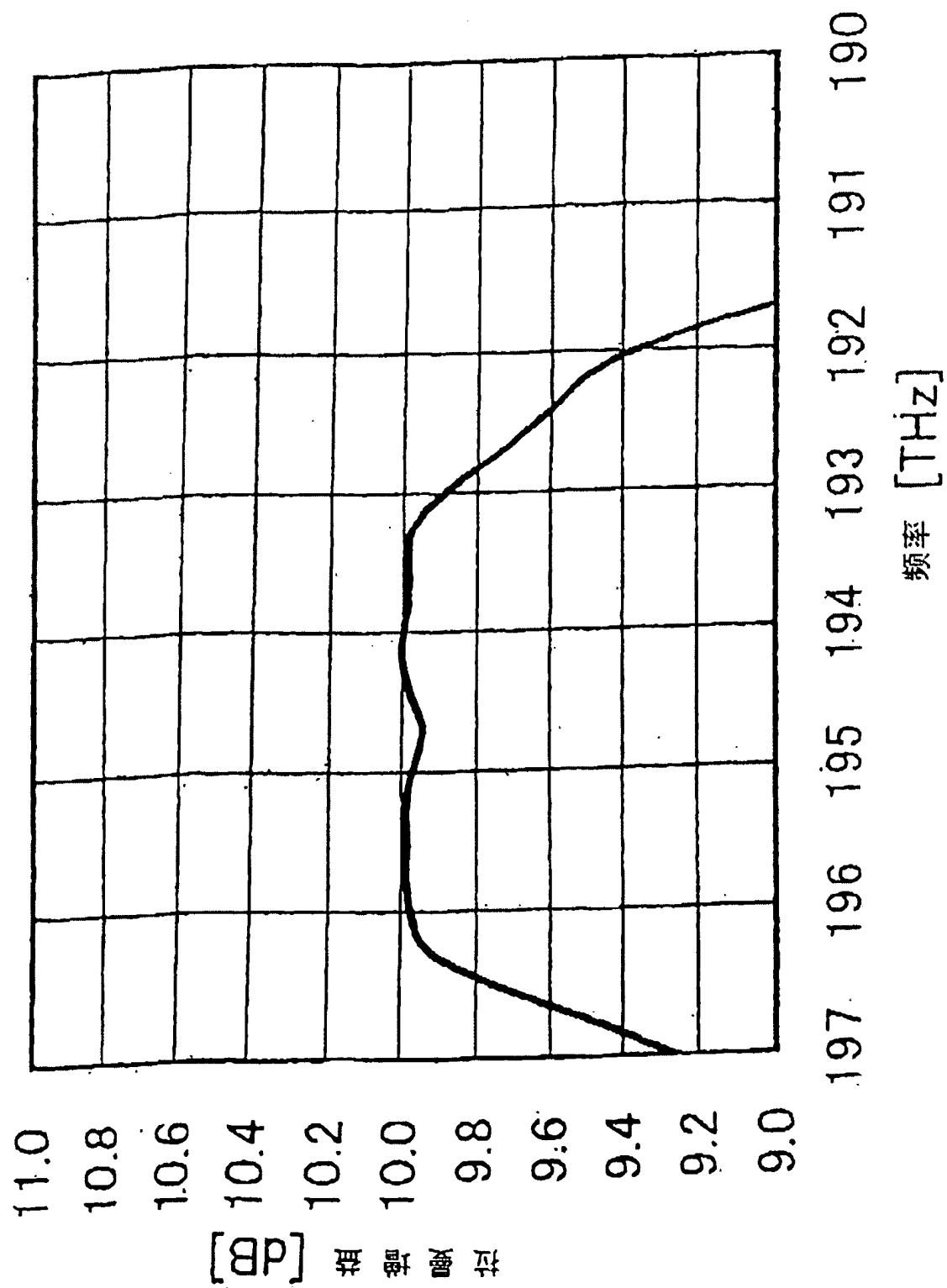


图20

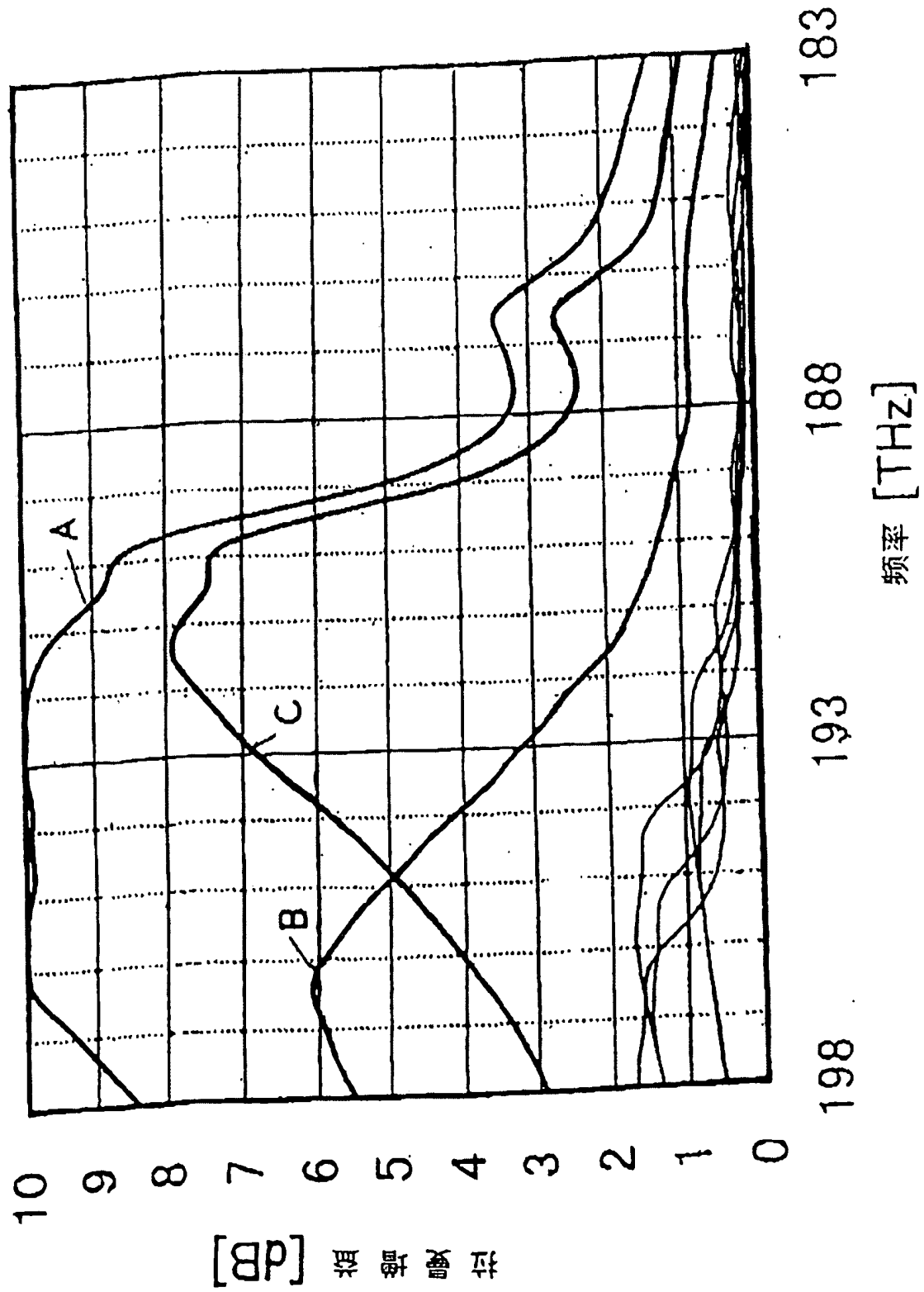


图21

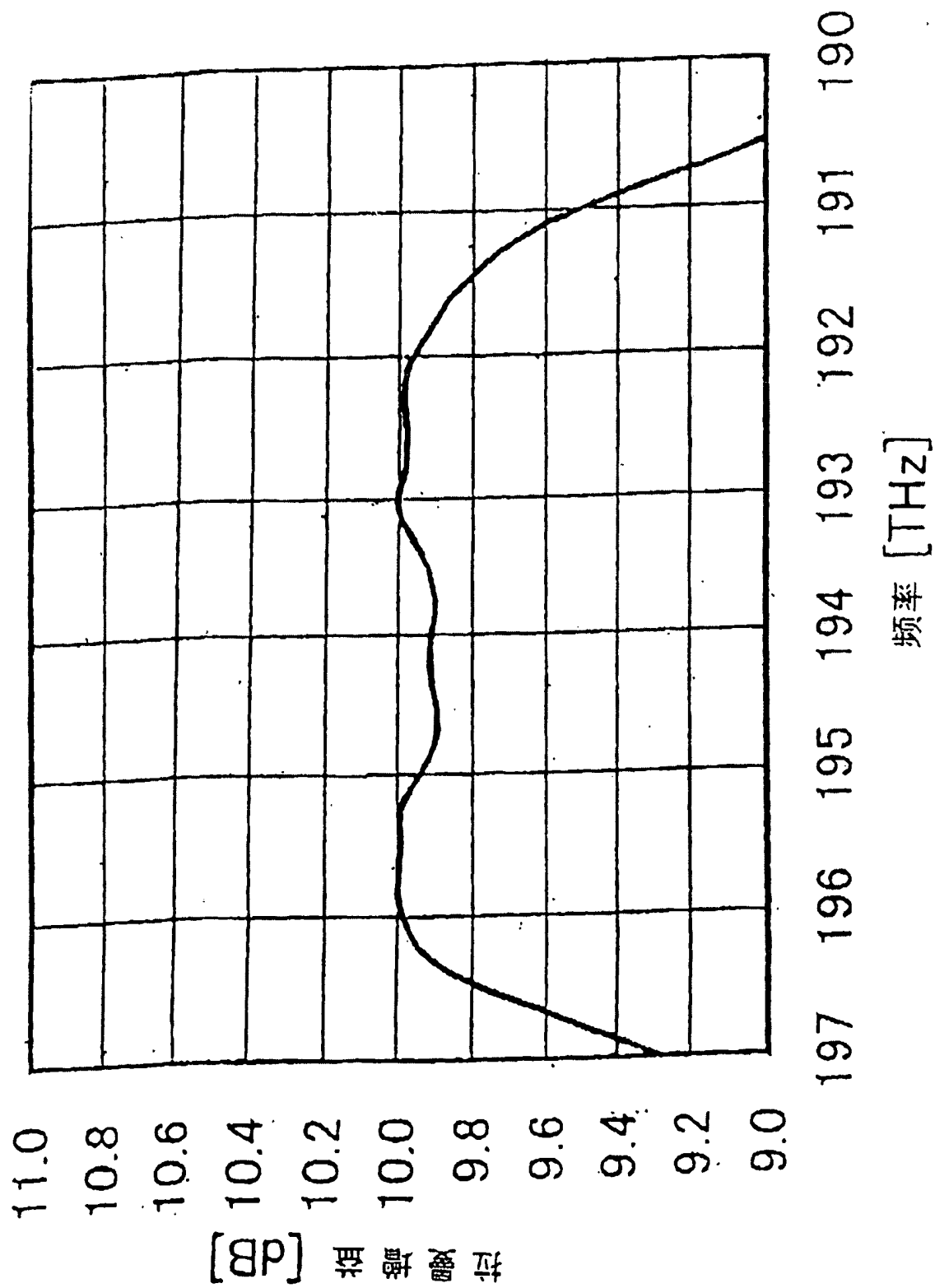


图 22

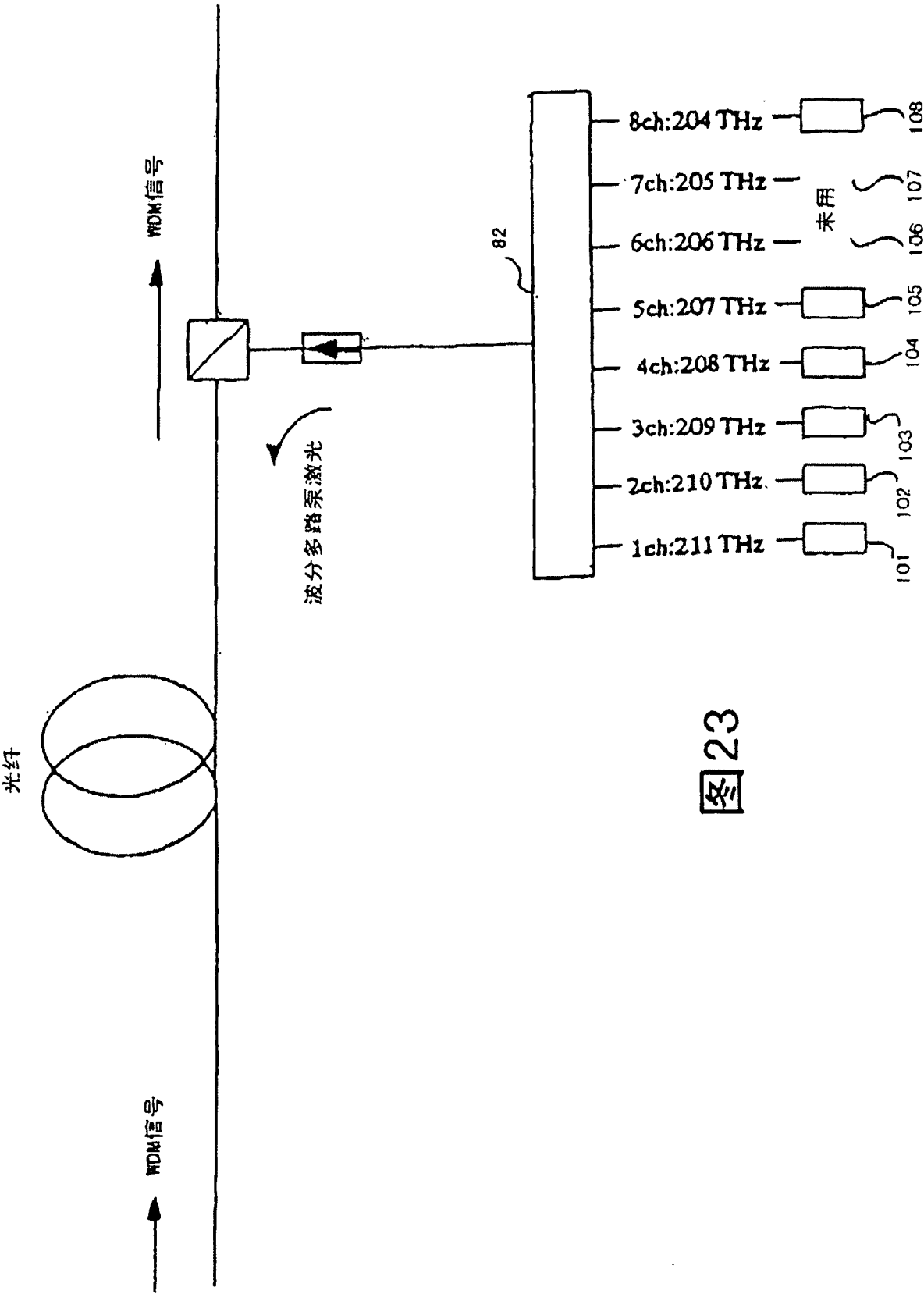


图23

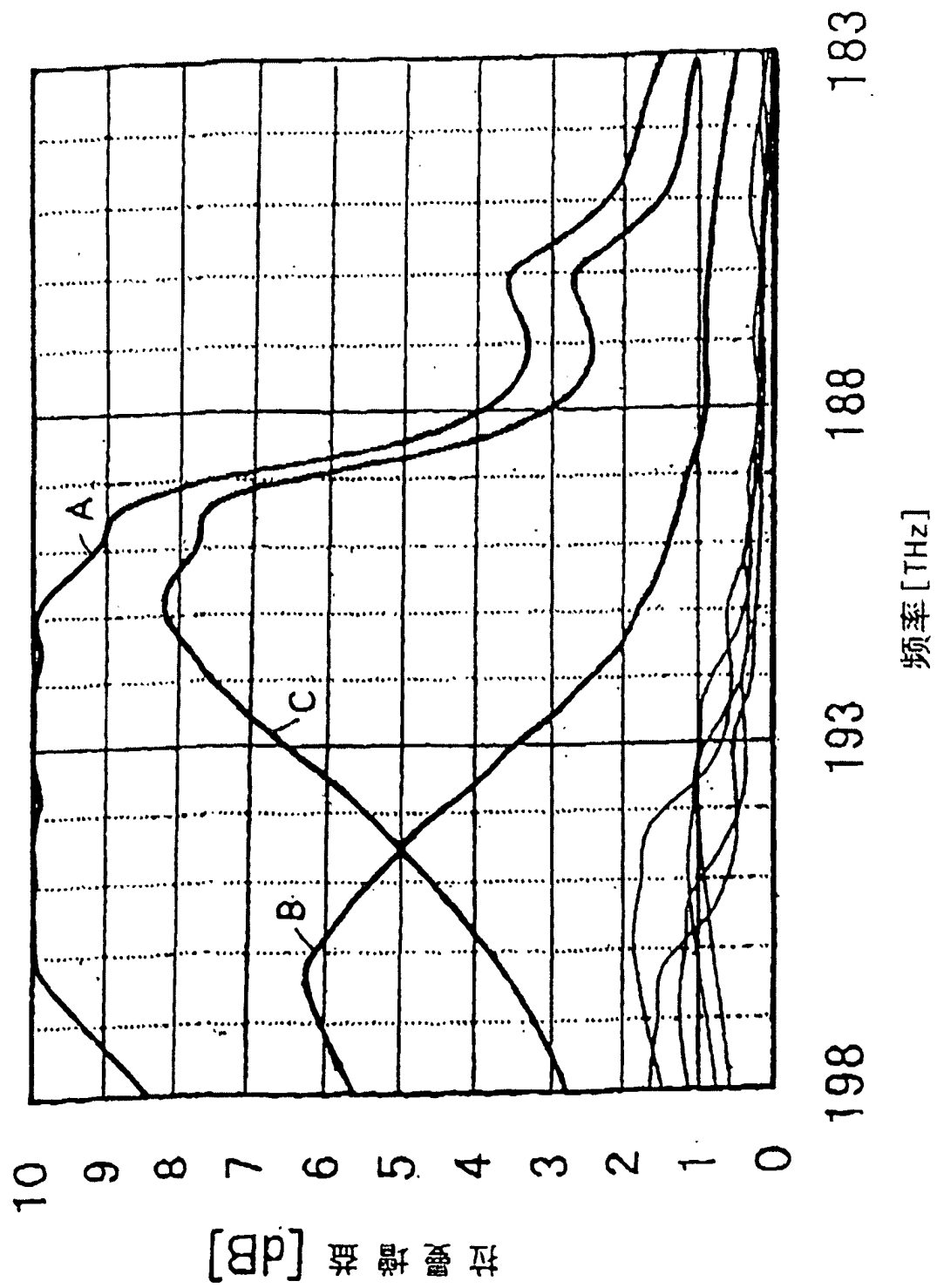


图24

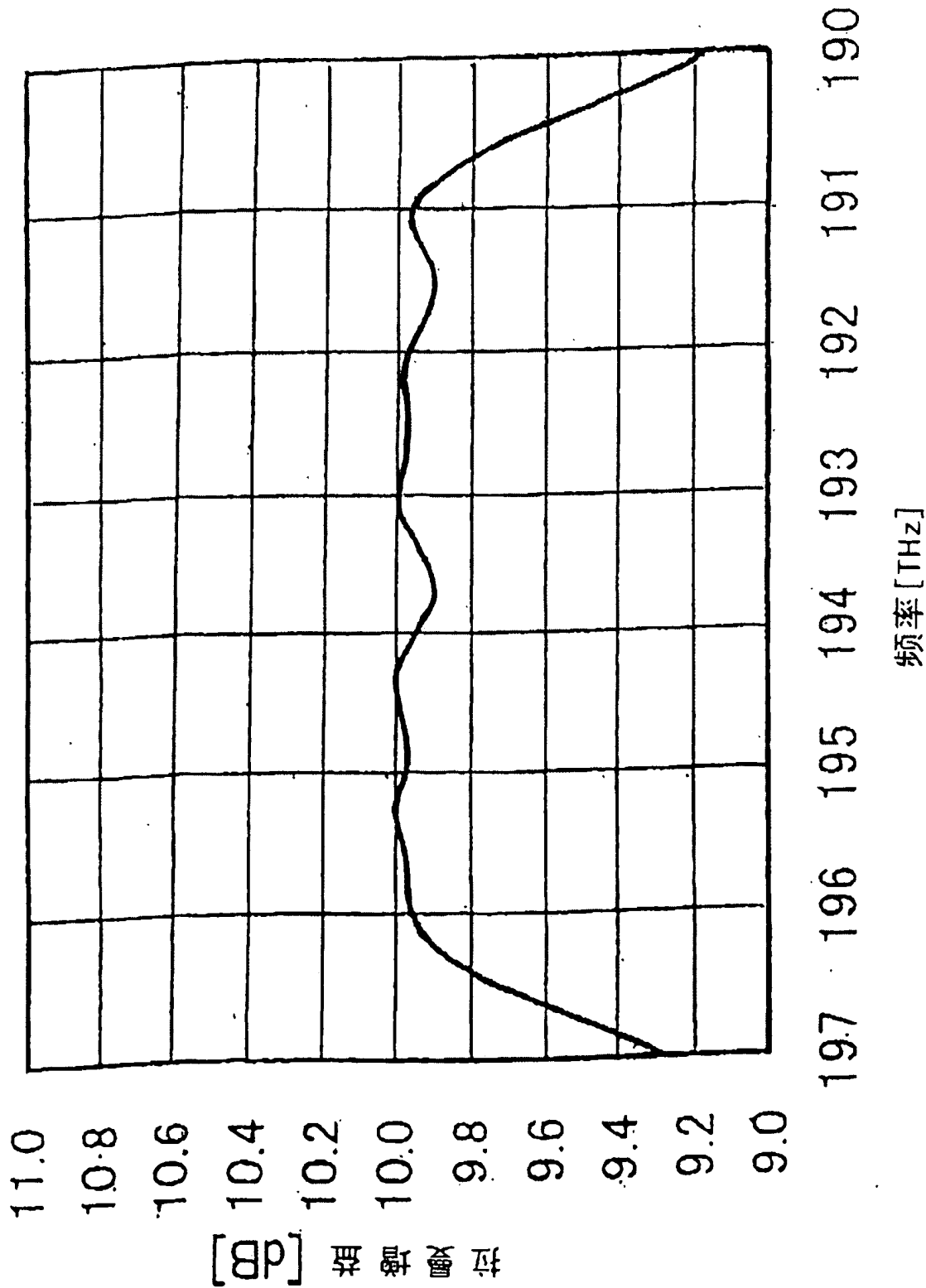


图25

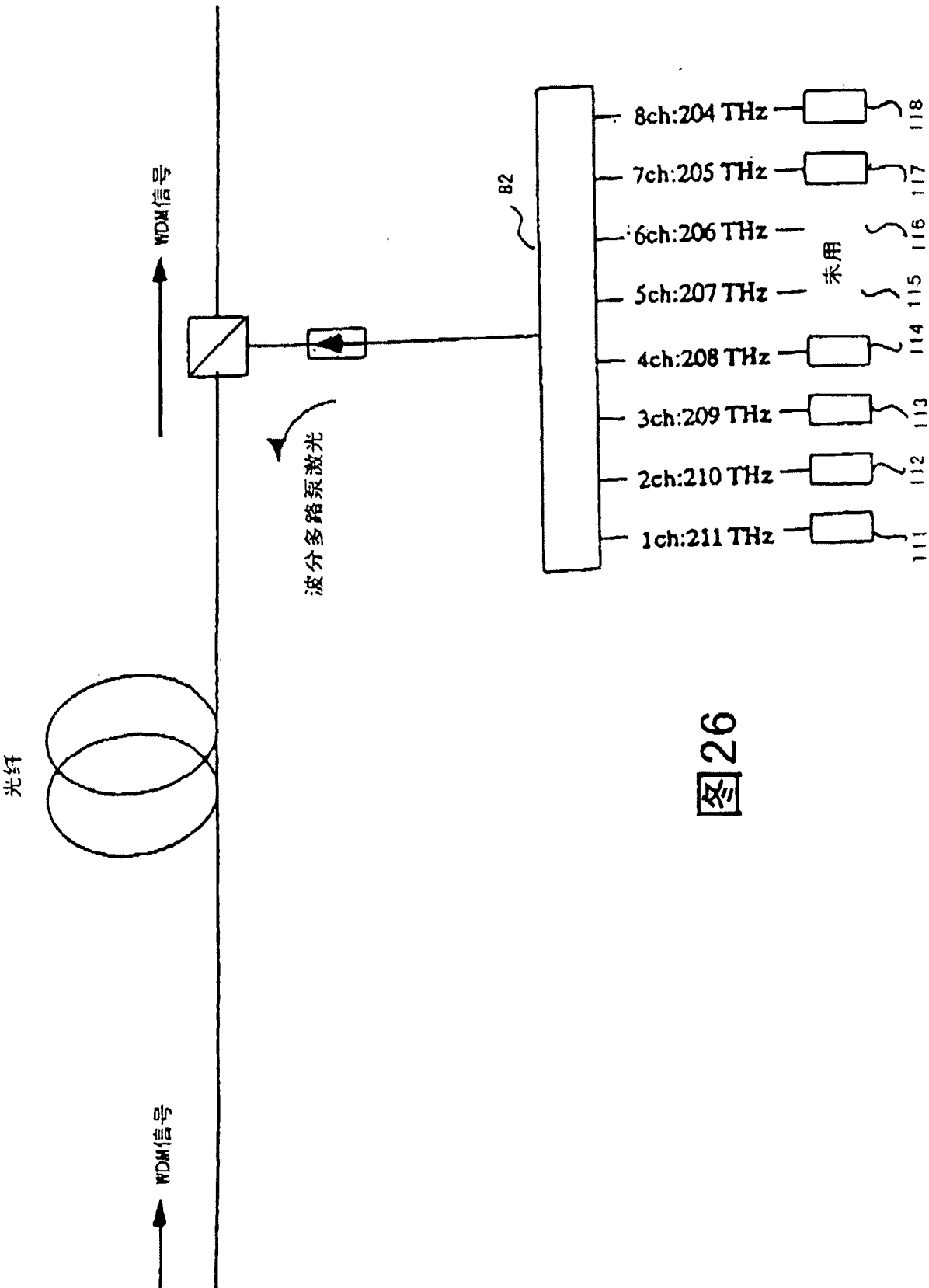


图26

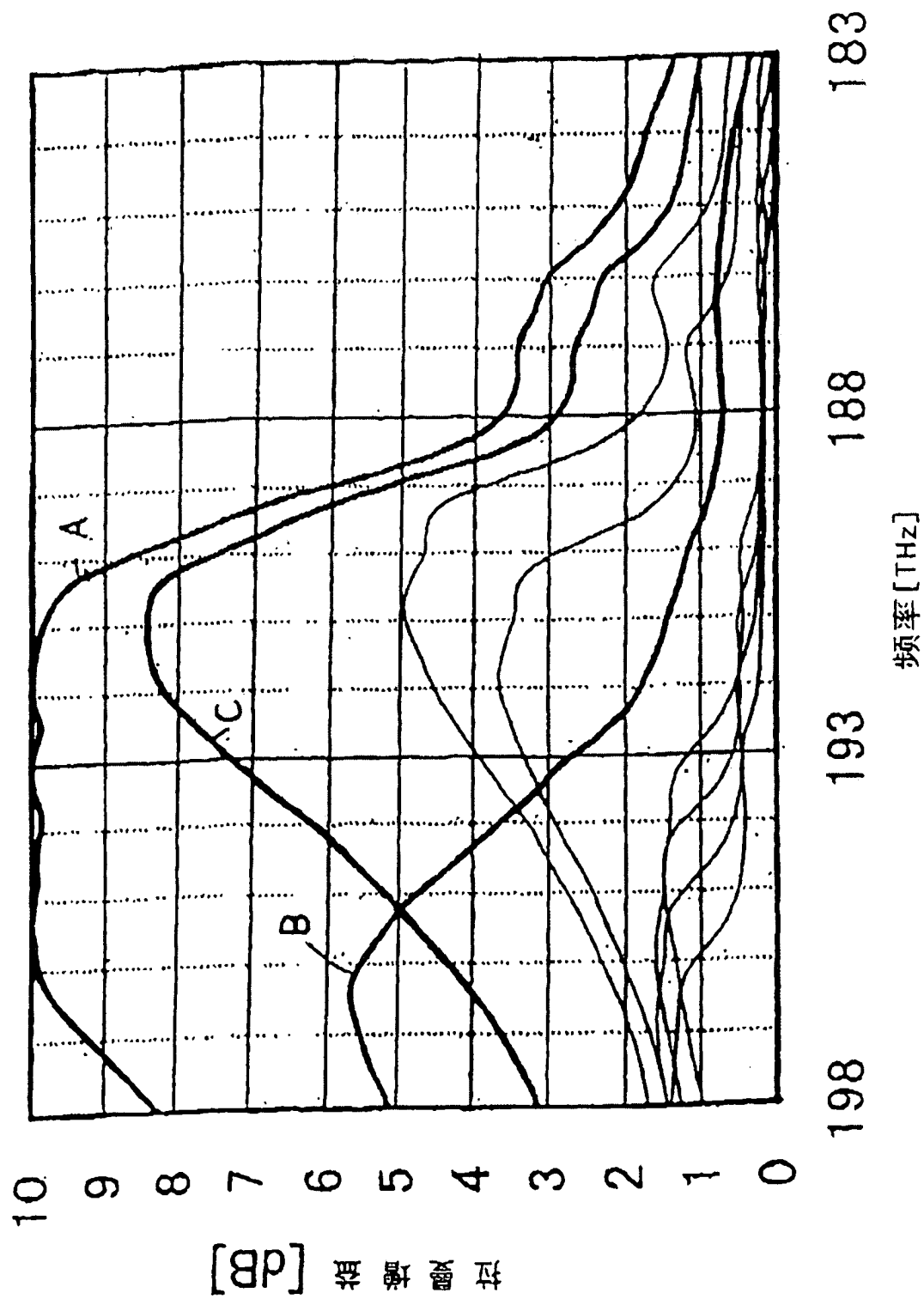


图27

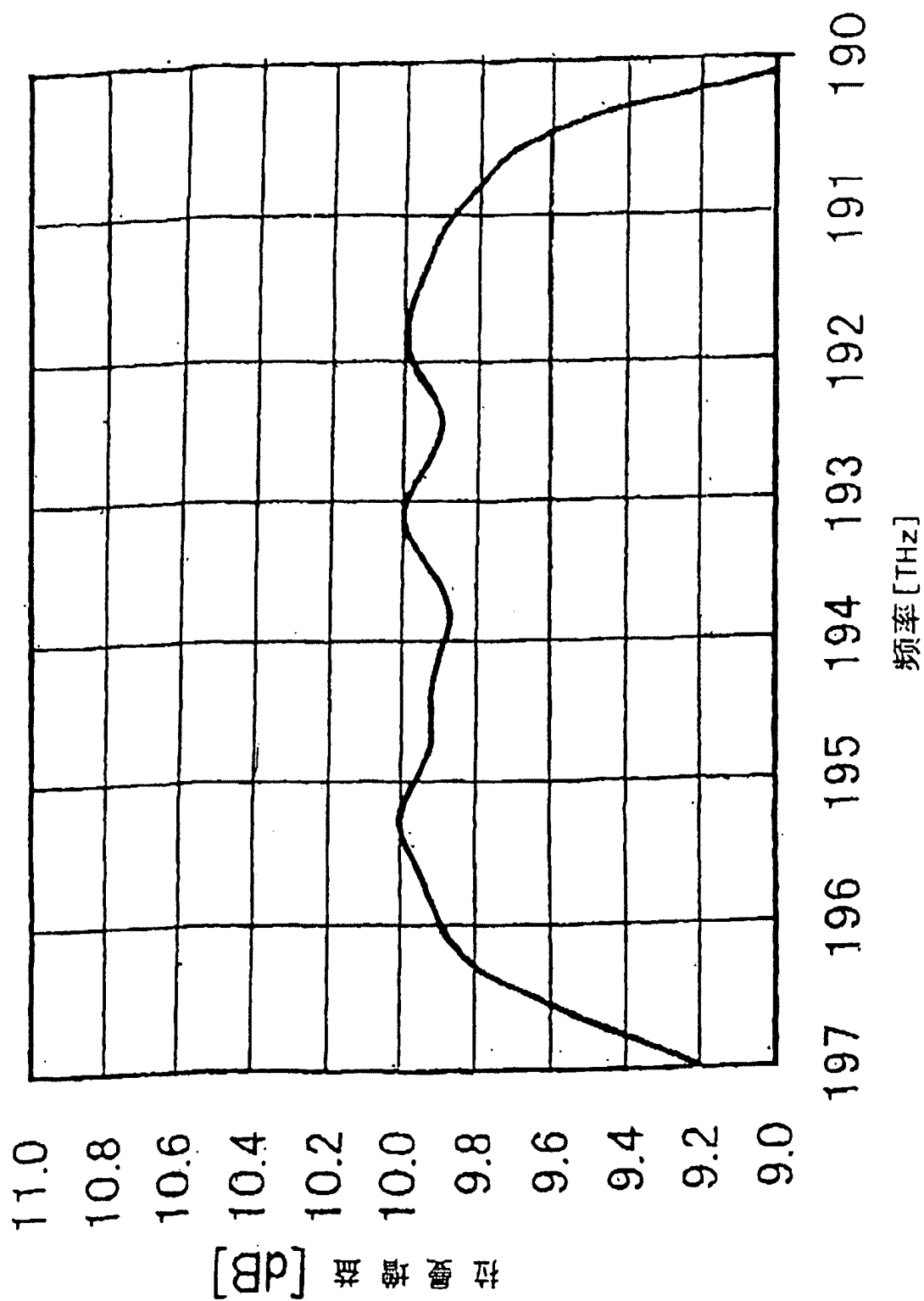


图28

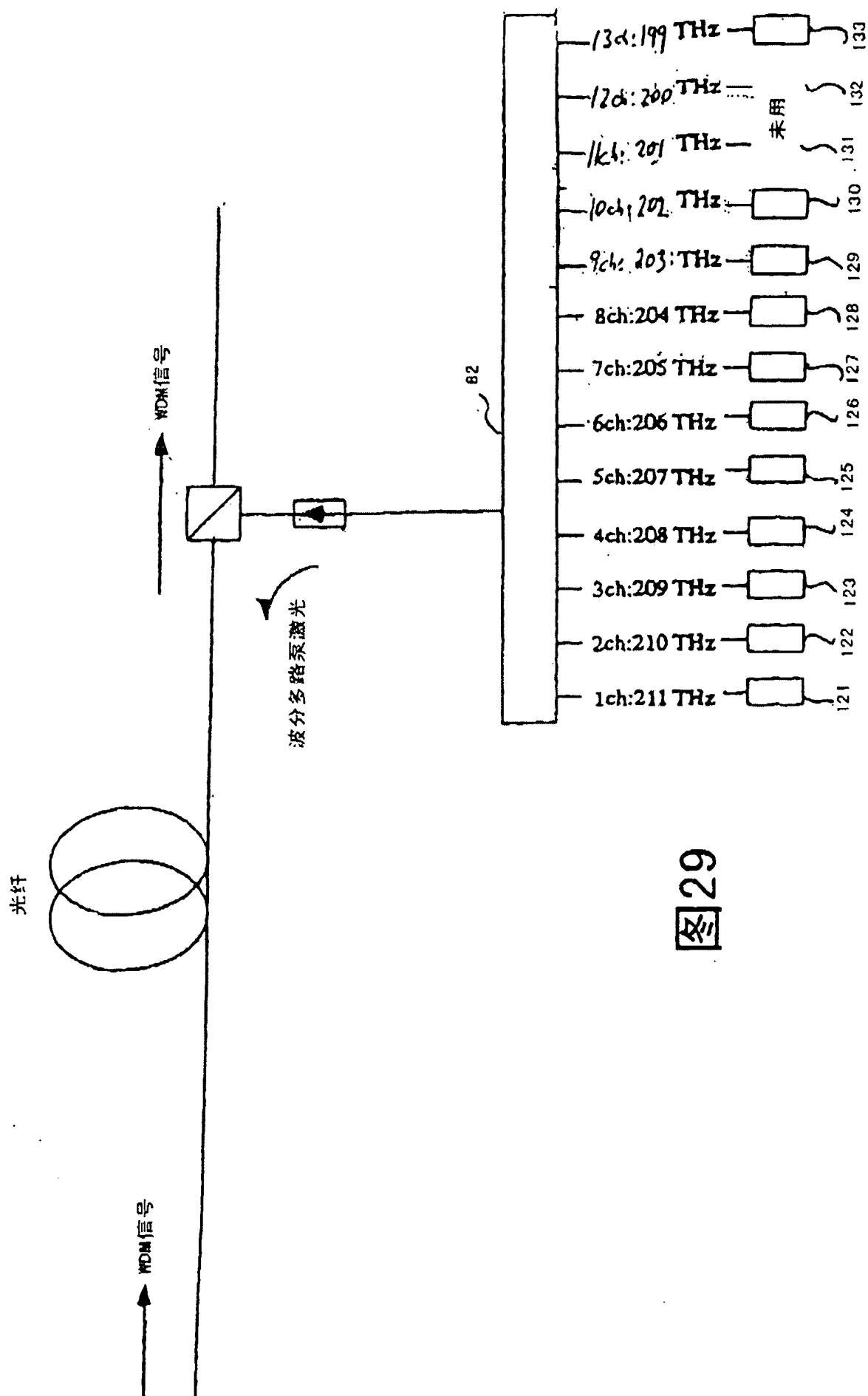
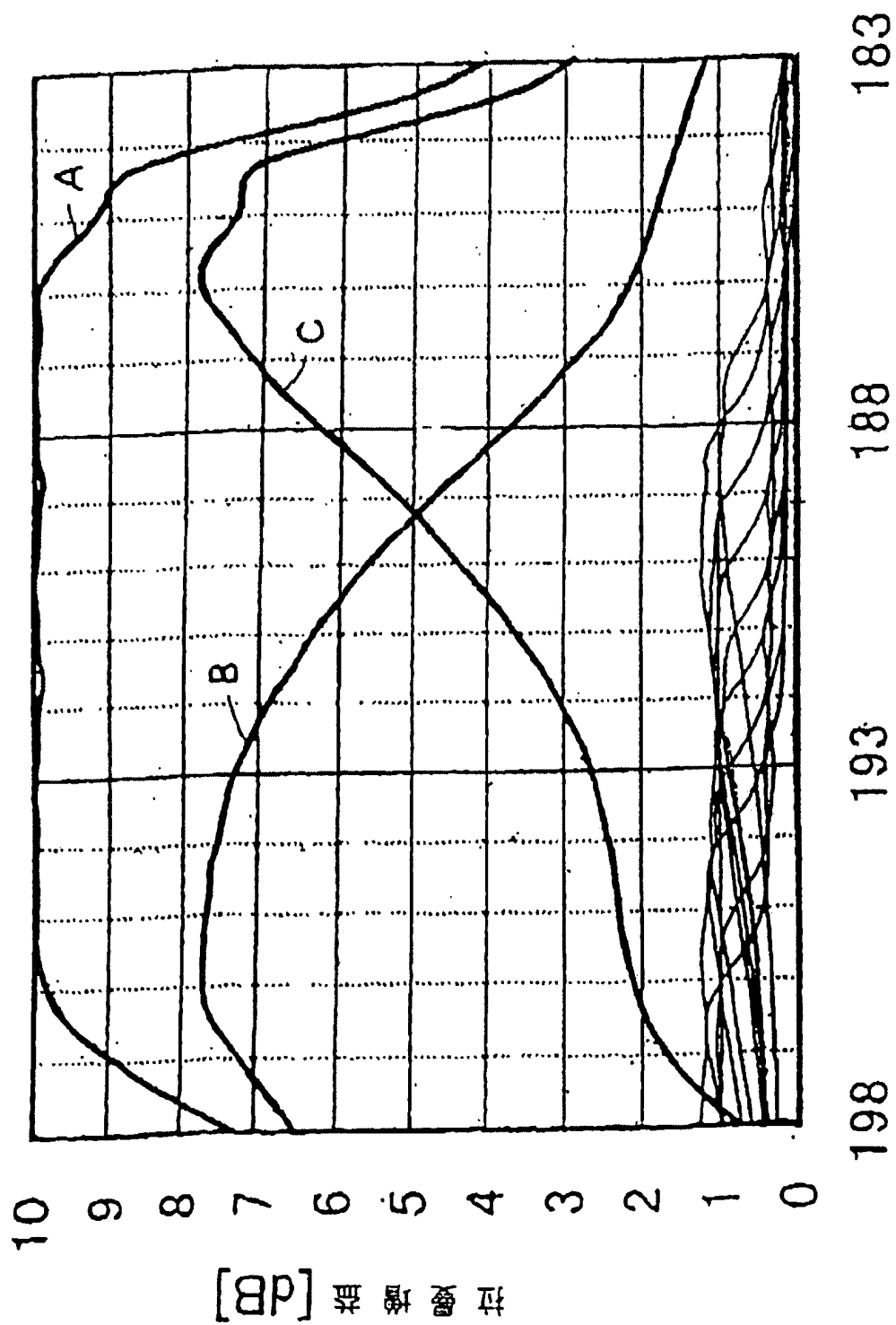


图29



频率 [THz]

图 30

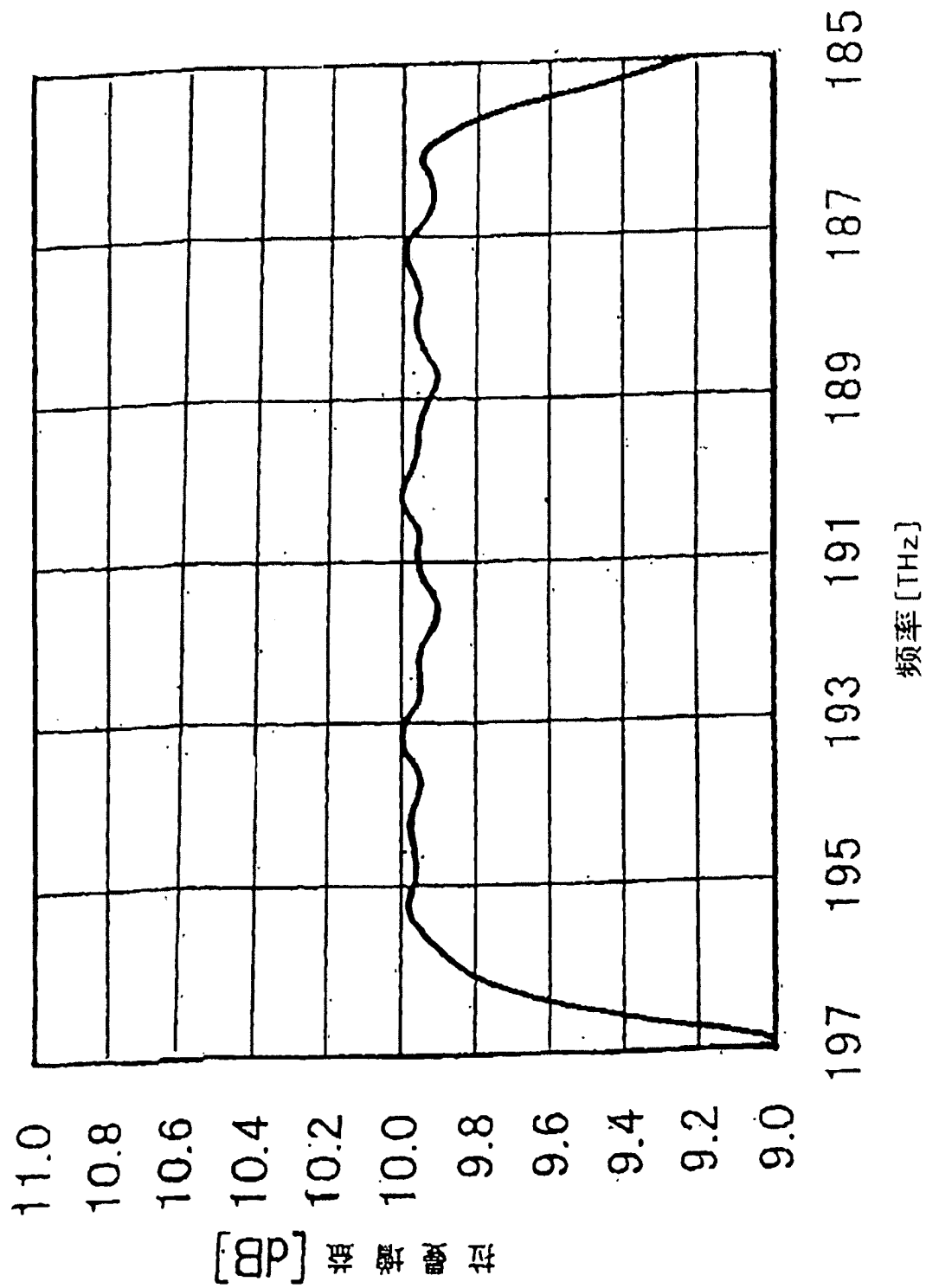


图31

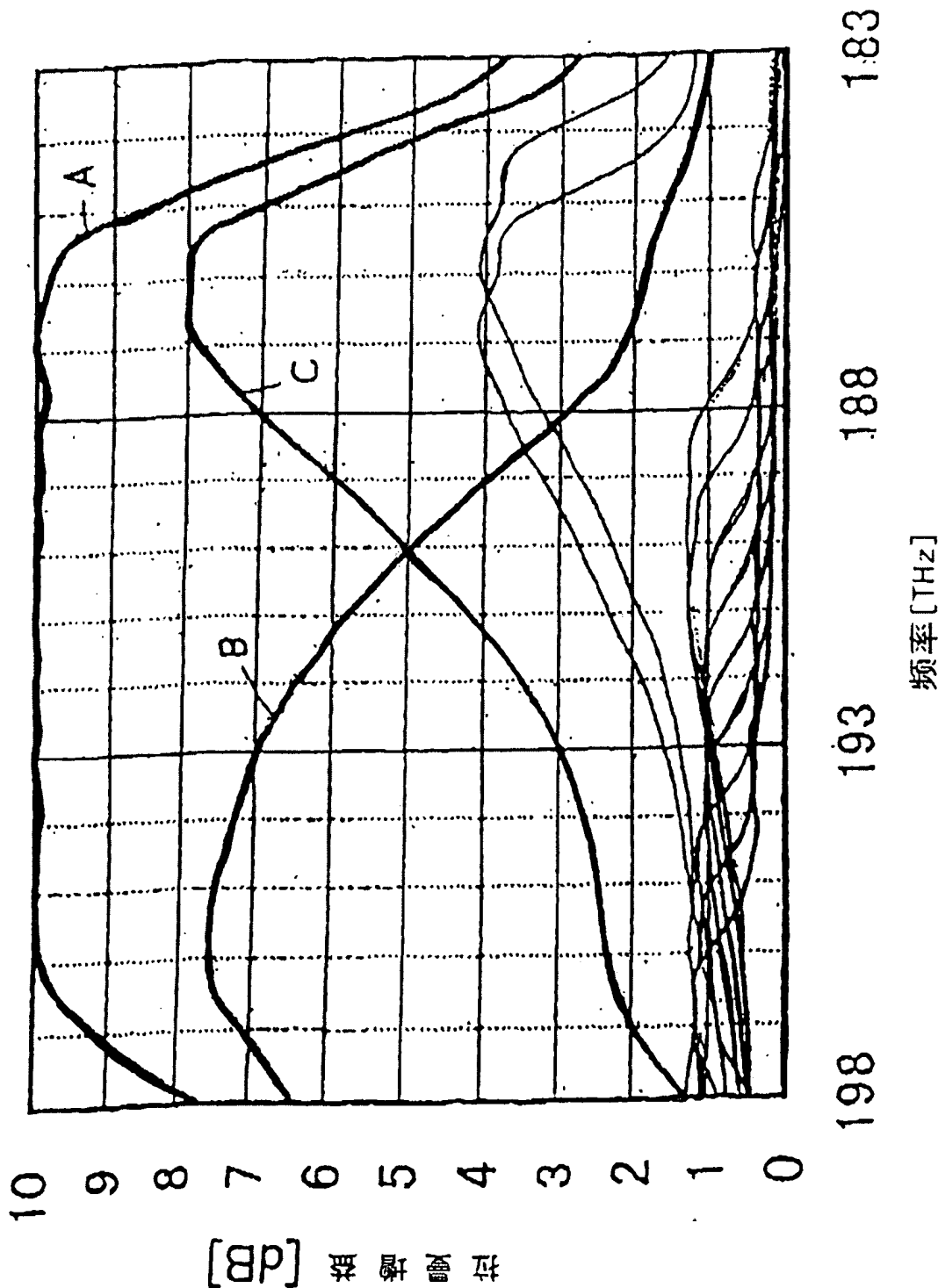


图 32

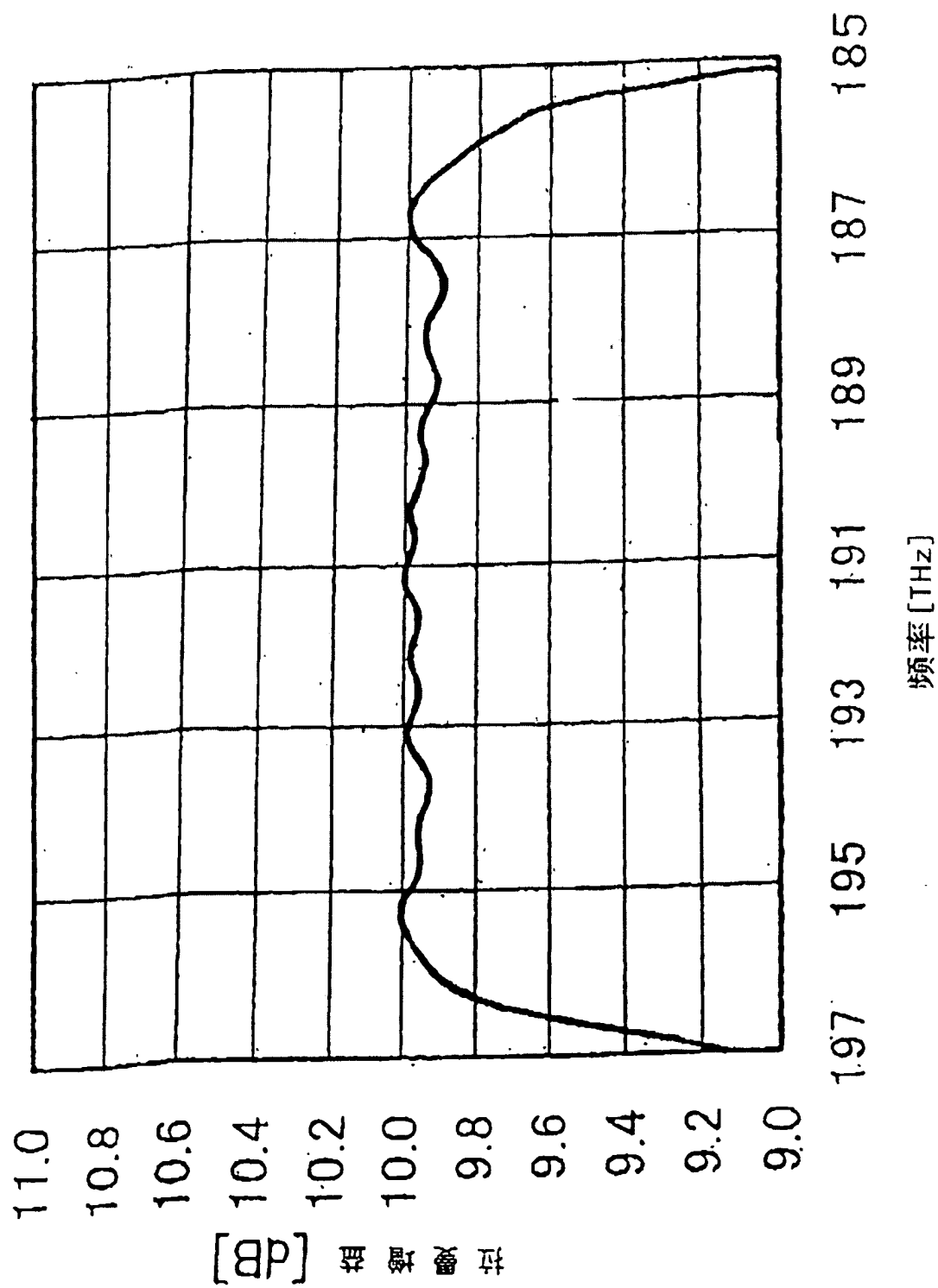


图 33

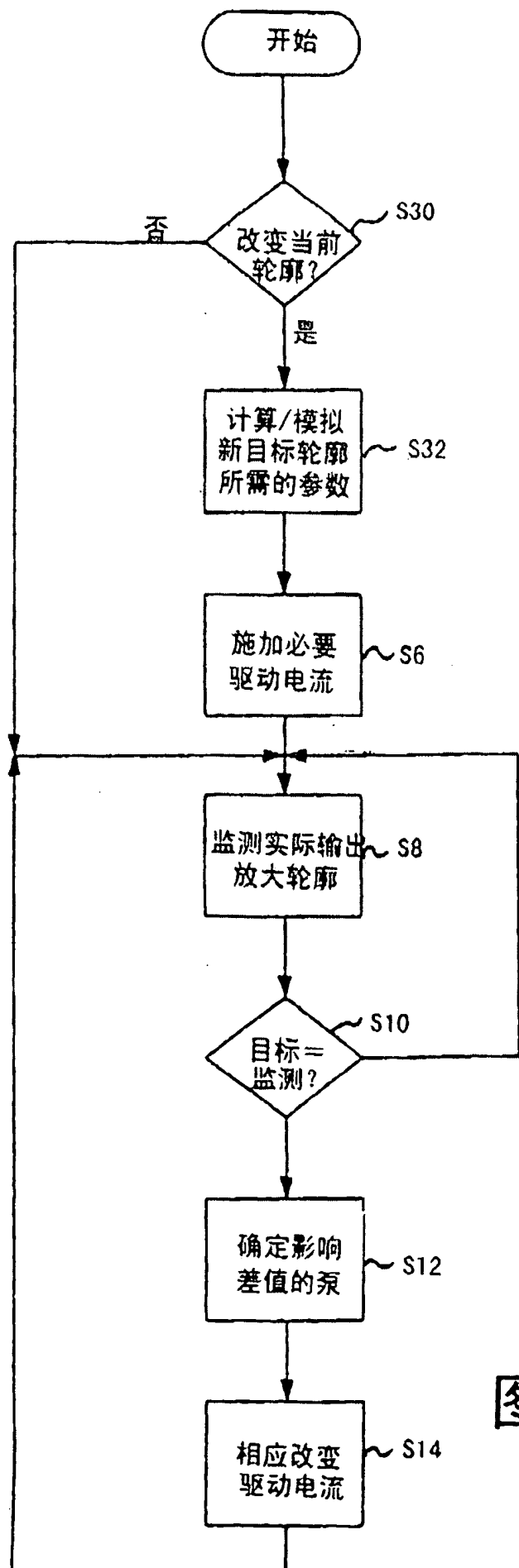


图 34

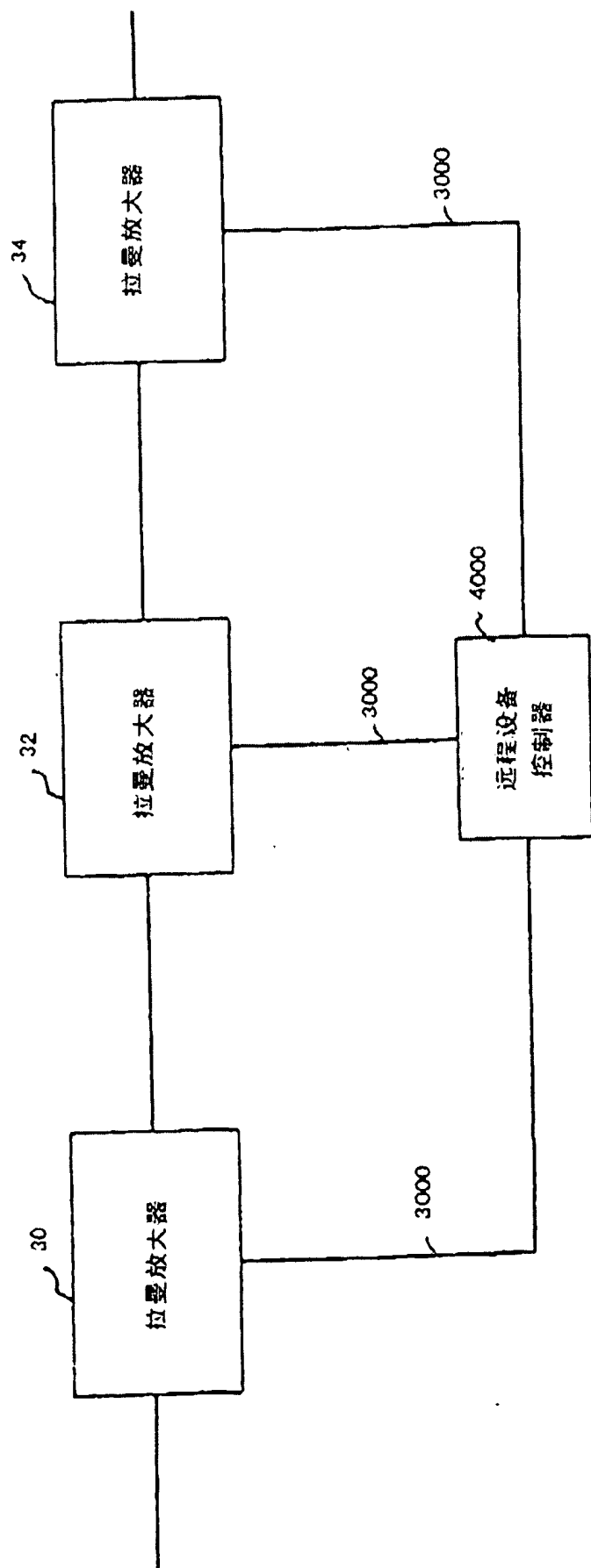


图35